



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

Tugas Akhir - TL141584

ANALISIS PENGARUH MEDIA PENDINGIN PADA PROSES PENGERASAN *STAINLESS STEEL* 410 TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO UNTUK APLIKASI *HAMMER CRUSHER*

ZAHRA LUTHFIAH SETIAWAN

NRP. 0251144000026

Dosen Pembimbing

Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.

Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

Departemen Teknik Material

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TL 141584

**ANALISIS PENGARUH MEDIA PENDINGIN PADA
PROSES PENGERASAN *STAINLESS STEEL* 410
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR
MIKRO UNTUK APLIKASI *HAMMER CRUSHER***

Zahra Luthfiah Setiawan
NRP. 02511440000026

Dosen Pembimbing:
Ir. Rochman Rochiem., M.Sc.
Alvian Toto Wibisono., S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 141584

**ANALYSIS OF THE EFFECT VARIATIONS IN
THE COOLING MEDIUM IN HARDENING
PROCESS OF STAINLESS STEEL 410
TOWARDS MECHANICAL PROPERTIES AND
MICROSTRUCTURE FOR THE APPLICATION IN
HAMMER CRUSHER**

Zahra Luthfiah Setiawan
NRP. 02511440000026

Advisors:

Ir. Rochman Rochiem., M.Sc.
Alvian Toto Wibisono., S.T., M.T.

**MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018**

(This page is left intentionally blank)

**ANALISIS PENGARUH MEDIA PENDINGIN PADA
PROSES Pengerasan *STAINLESS STEEL* 410
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO
UNTUK APLIKASI *HAMMER CRUSHER***

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Korosi dan Analisa Kegagalan
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ZAHRA LUTHFIAH SETIAWAN
NRP. 02511440000026

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc (Pembimbing 1)
2. Alvian Toto W, S.T., M.T (Pembimbing 2)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISIS PENGARUH MEDIA PENDINGIN PADA
PROSES PENGERASAN *STAINLESS STEEL* 410
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO
UNTUK APLIKASI *HAMMER CRUSHER***

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Korosi dan Analisa Kegagalan
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ZAHRA LUTHFIAH SETIAWAN
NRP. 02511440000026

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc (Pembimbing 1)
2. Alvian Toto W, S.T., M.T (Pembimbing 2)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**Analisis Pengaruh Media Pendingin pada Proses Pengerasan
Stainless Steel 410 terhadap Sifat Mekanik dan Struktur
Mikro untuk Aplikasi *Hammer Crusher***

Nama Mahasiswa : Zahra Luthfiah Setiawan
NRP : 02511440000026
Jurusan : Teknik Material
Dosen Pembimbing : Ir. Rochman Rochiem., M.Sc.
Co-Pembimbing : Alvian Toto W., S.T., M.T.

Abstrak

Hammer crusher merupakan komponen penunjang penghancur *raw material* berupa *limestone* pada PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. *Hammer crusher* sering mengalami keausan yang sangat cepat dan tidak sesuai dengan umur pakainya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mencari solusi dengan menganalisis pengaruh media pendingin pada proses *hardening* dan *tempering* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro SS 410. Spesimen uji dipanaskan pada temperatur 950°C dengan waktu *holding* 60 menit, dilanjutkan *tempering* pada temperatur 250°C dengan waktu *holding* 60 menit. Berdasarkan proses perlakuan yang telah dilakukan, didapatkan bahwa pada proses *hardening*, kekerasan tertinggi diperoleh pada spesimen SS 410 H-WQ yaitu 484 HV, dan terdiri dari fasa *lath martensite*, dan *retained austenite*, sehingga menghasilkan nilai keausan yang cukup rendah, yaitu 25,66 mm/jam. Pada perlakuan *hardening* dan *tempering*, spesimen SS 410 HT-WQ memiliki nilai kekerasan tertinggi yaitu 490 HV dan terdiri dari fasa *lath martensite*, *retained austenite*, dan presipitasi karbida $M_{23}C_6$, sehingga menghasilkan keausan yang rendah, yaitu 21 mm/jam.

Kata Kunci: *Hammer Crusher, SS 410. Hardening, Tempering*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**Analysis of the Effect Variations in the Cooling Medium in
Hardening Process of Stainless Steel 410 towards Mechanical
Properties and Microstructure for the Application in
Hammer Crusher**

Name : Zahra Luthfiah Setiawan
SRN : 02511440000026
Major : Material Engineering
Advisor : Ir. Rochman Rochiem., M.Sc.
Co-Advisor : Alvian Toto W., ST., MT.

Abstract

Hammer crusher is a supporting component of crushing raw material in the form of limestone in PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Hammer crusher often experience very fast wear and doesn't match with the life design. Therefore, this research aims to find a solution by analyzing the effect of cooling media on the hardening and tempering process on the mechanical properties and microstructure of SS 410. The test specimens were heated at 950°C with a holding time of 60 minutes, followed by tempering at 250°C with a holding time of 60 minutes. Based on the treatment process, it was found that in the hardening process, the highest hardness was obtained in specimen of SS 410 H-WQ of 484 HV, and consisted of lath martensite phase, and retained austenite, resulting in a relatively low wear rate of 25.66 mm/hr. In hardening and tempering treatments, the SS 410 HT-WQ specimen has the highest hardness value of 490 HV and consists of lath martensite, retained austenite, and carbide precipitation $M_{23}C_6$, resulting in low wear rate of 21 mm/hr.

Keywords: Hammer Crusher, SS 410. Hardening, Tempering

(This page is left intentionally blank)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Serta tidak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW. Tugas Akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Jurusan Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Pengaruh Media Pendingin pada Proses Pengerasan *Stainless Steel 410* terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro untuk Aplikasi *Hammer Crusher***”.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, Laporan Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Allah SWT berkat pertolongan dan bimbingan-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang telah menjadi sumber motivasi dalam pembuatan laporan ini, serta telah mendukung secara moril maupun materiil, dan doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan, dan kelancaran dalam mengerjakan Laporan Tugas Akhir.
3. Dr. Agung Purniawan S.T, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
4. Ir. Rochman Rochiem M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
5. Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T selaku co dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing,

membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.

6. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material FTI ITS.
7. Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si selaku dosen wali yang telah membantu penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
8. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
9. Bapak Anggoro selaku pembimbing di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
10. Keluarga MT 16 yang penulis sayangi, yang telah menemani dan memberikan banyak pengalaman berharga selama jenjang perkuliahan ini.
11. Dan seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam penulisan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama. Penulis berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya.

Surabaya, 15 Desember 2017

Penulis,
Zahra Luthfiah Setiawan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
<i>TITLE PAGE</i>.....	iii
<i>APPROVAL SHEET</i>.....	v
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i>	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Impact Crusher</i>	5
2.2 <i>Hammer Crusher</i>	6
2.3 Material <i>Hammer Crusher</i>	8
2.4 Material <i>Hammer Crusher</i> yang Mengalami Kegagalan..	9
2.5 <i>Stainless Steel</i>	10
2.5.1 <i>Martensitic Stainless Steel</i>	13
2.6 Diagram Fase SS 410.....	14
2.7 Diagram Fase Fe – 12% et Cr – C	15
2.8 Keausan.....	16
2.9 Kegagalan	19
2.9.1 Analisis Kegagalan	19
2.10 Pengujian Komposisi	22
2.11 Pengujian Kekerasan.....	23
2.11.1 Uji Kekerasan <i>Vickers</i>	24
2.12 Pengamatan Struktur Mikro.....	24

2.13 Pengujian Keausan <i>Pin on Disc</i>	26
2.14 <i>Heat Treatment</i>	26
2.14.1 <i>Hardening</i>	27
2.14.2 <i>Tempering</i>	28
2.14.3 <i>Quenching</i>	29
2.15 Penelitian Sebelumnya	30
2.15.1 Analisis Kegagalan pada <i>Hammer Crusher</i> di <i>Clinker Cooler</i> Tuban 1 PT. Semen Indonesia	30
2.15.2 Analisis Pengaruh Variasi Waktu Tahan dan Media Pendingin Proses <i>Hardening</i> pada Sifat Kekerasan Baja AISI 8655 Sebagai Solusi Kegagalan pada <i>Hammer Crusher</i>	32
2.15.3 Efek dari Perlakuan Panas pada Sifat Mekanik dan Ketahanan Korosi dari <i>Martensitic Stainless Steel</i> AISI420	35
2.15.4 Perubahan Struktur Mikro dan Sifat Mekanik dari Baja X12CrMoWVNb10-1-1 Selama Proses <i>Quenching</i> dan <i>Tempering</i>	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir	39
3.2 Metode Penelitian	40
3.3 Material yang Digunakan	41
3.4 Peralatan	42
3.5 Tahapan Penelitian	48
3.5.1 Review Dokumen Perusahaan	48
3.5.2 Preparasi Spesimen	48
3.5.3 Pengamatan Makroskopik dan Mikroskopik	48
3.5.4 Uji Komposisi	48
3.5.5 Uji Kekerasan	49
3.5.6 Uji Keausan	49
3.5.7 Uji XRD	50
3.5.8 Perlakuan Panas	50
3.6 Rancangan Penelitian	51

3.7 Timeline Penelitian	52
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisis Data Kegagalan Material	55
4.1.1 Pengamatan Hasil Makro <i>Hammer Crusher</i> yang Mengalami Kegagalan.....	56
4.1.2 Hasil Pengujian Struktur Mikro <i>Hammer Crusher</i> ...	57
4.1.3 Hasil Pengujian Kekerasan <i>Hammer Crusher</i>	64
4.1.4 Hasil Pengujian Keausan <i>Hammer Crusher</i>	66
4.1.5 Hasil Pengujian XRD pada Spesimen Uji Setelah Proses <i>Heat Treatment</i>	67
4.2 Pembahasan	68
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	xx
LAMPIRAN.....	xxvi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	xxx
BIODATA PENULIS.....	xxxii

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses penghancuran <i>raw material</i> menggunakan crusher.....	6
Gambar 2.2 <i>Hammer crusher</i>	7
Gambar 2.3 Diagram <i>Schaeffler DeLong</i>	12
Gambar 2.4 Diagram fase 0.10% karbon.....	14
Gambar 2.5 Diagram fase baja krom pada 12% Cr	15
Gambar 2.6 Mekanisme <i>adhesive wear</i>	17
Gambar 2.7 Meanisme <i>abrasive wear</i> akibat proses <i>cutting</i> ...	17
Gambar 2.8 Mekanisme <i>fatigue wear</i>	18
Gambar 2.9 <i>Flow wear</i> penumpukan aliran geseran plastis	19
Gambar 2.10 Skema ilustrasi OES	23
Gambar 2.11 Proses indentasi metode <i>vickers</i>	24
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	39
Gambar 3.2 Material <i>hammer crusher</i>	42
Gambar 3.3 Mesin <i>wire cut</i>	43
Gambar 3.4 Mesin OES	44
Gambar 3.5 <i>Universal hardness tester</i>	44
Gambar 3.6 Kertas <i>abrasive</i> (amplas)	45
Gambar 3.7 Mesin <i>polishing</i>	45
Gambar 3.8 <i>Olympus BX51 optical microscope</i>	46
Gambar 3.9 Mesin pengujian XRD	47
Gambar 3.10 Mesin uji keausan (<i>pin on disc</i>)	47
Gambar 3.11 Skema uji ketahanan aus material	50
Gambar 3.12 Kurva perlakuan panas.....	51
Gambar 4.1 <i>Hammer crusher</i> yang mengalami kegagalan.....	55
Gambar 4.2 Struktur mikro pada <i>hammer crusher</i> yang gagal (SS 410) perbesaran 1000x dengan etsa <i>villela</i>	56
Gambar 4.3 Struktur mikro <i>martensitic white cast iron</i>	56
Gambar 4.4 Foto struktur mikro SS 410 perbesaran 500x dengan etsa <i>villela</i>	59

Gambar 4.5	Foto struktur mikro SS 410 perbesaran 500x dengan etsa villela	61
Gambar 4.6	Pembagian daerah indentasi.....	62
Gambar 4.7	Grafik distribusi kekerasan spesimen uji	63
Gambar 4.8	Grafik distribusi keausan spesimen uji	65
Gambar 4.9	Grafik XRD material hasil proses <i>heat treatment</i>	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi kimia pada ASTM A532	8
Tabel 2.2 Kekerasan pada ASTM A532	9
Tabel 2.3 Komposisi kimia SS 410	9
Tabel 2.4 Prosedur pengerasan dan penemperan <i>wrought stainless steel</i>	10
Tabel 2.5 Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin....	20
Tabel 2.6 Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen	21
Tabel 2.7 Penyebab kegagalan dalam komponen mesin	
Tabel 3.1 Komposisi kimia <i>hammer crusher</i>	42
Tabel 3.2 Rancangan penelitian <i>hammer crusher</i>	50
Tabel 3.3 Timeline penelitian <i>hammer crusher</i>	51
Tabel 4.1 Kode spesimen dan jenis perlakuan pada SS 410.....	53
Tabel 4.2 Hasil pengujian kekerasan spesimen uji	62
Tabel 4.3 Hasil pengujian ketahanan aus spesimen uji.....	64

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk, merupakan perusahaan produsen semen terbesar di Indonesia dengan kapasitas semen yang dihasilkan sebesar 250.000 ton tiap tahunnya. Pada tahun 2014 kapasitas yang terpasang pada PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk, meningkat menjadi 31,8 juta ton semen per tahun, dan menguasai sekitar 42% pangsa pasar semen domestik. PT. Semen Indonesia sendiri memiliki 4 pabrik dengan kapasitas terpasang 8,5 juta ton semen per tahun dengan 4 anak perusahaan yaitu PT. Semen Gresik, PT. Semen Padang, PT. Semen Tonasa dan *Thang Long Cement*. Salah satu kawasan pabrik PT Semen Indonesia yang memiliki kapasitas produksi terbesar sebesar 12,76 juta ton semen per tahun yang berlokasi di Desa Sumberarum, Kecamatan Kerek, Tuban, Jawa Timur.

Semen sendiri terdiri atas bahan baku utama dan bahan baku tambahan jika ditinjau dari segi *material input*. Material yang termasuk bahan baku utama adalah batu kapur (CaC), *clay* (tanah liat), pasir silika (Si), dan *iron sand*. Bahan baku tambahan dari semen adalah *trass*, *gypsum* dan dolomit. Proses produksi semen yang pertama yaitu penambangan bahan baku untuk pembuatan semen terutama batu kapur (CaC) dan *clay* (tanah liat) menggunakan alat-alat berat kemudian dikirim ke pabrik. Kemudian bahan-bahan yang telah ditambang diteliti di laboratorium lalu dicampur dengan proporsi yang tepat dan kemudian dilanjutkan ke proses penggilingan awal (*raw mill*) untuk memperkecil dimensi material. Proses selanjutnya adalah bahan dipanaskan di *preheater*, dilanjutkan di dalam kiln sehingga bereaksi membentuk kristal klinker. Kiln ini menggunakan bahan dasar pembakaran batu bara yang sebelumnya diproses di *coal mill* yang berjenis *vertical roller mill*, agar ukuran batu bara ini dapat digunakan pada kiln. Kristal klinker ini kemudian didinginkan di *cooler* dengan bantuan angin.



Panas dari proses pendinginan ini di alirkan lagi ke *preheater* untuk menghemat energi. Klinker ini kemudian dihaluskan lagi dalam tabung yang berputar yang bersisi bola-bola baja yaitu pada *ball mill* sehingga menjadi serbuk semen yang halus. Klinker yang telah halus ini disimpan dalam silo. Dari silo ini semen di *packing* dan dijual ke konsumen. (Semenpadang.co.id)

Pabrik semen memiliki banyak komponen penunjang, salah satu bagian yang berperan penting ialah tempat penghancuran *raw material*. Tempat ini berfungsi sebagai proses reduksi *raw material* berupa *limestone* yang merupakan bahan baku dari semen itu sendiri. Proses reduksi pada PT. Semen Indonesia menggunakan *crusher*. *Crusher* merupakan mesin yang dipergunakan untuk memperkecil dimensi/ukuran, atau merubah bentuk suatu *raw material*. Pada PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk, jenis *crusher* yang digunakan adalah *impact crusher*. Jenis *crusher* ini digunakan karena strukturnya yang sederhana, mampu menyederhanakan proses penghancuran, dan mempunyai efisiensi kerja yang tinggi. *Impact crusher* bekerja menghancurkan material dengan memanfaatkan besarnya kekuatan tumbukan antara material dengan pemukul (*hammer*). Ketika material masuk ke dalam *impact crusher*, material dihancurkan dengan kekuatan dan kecepatan yang tinggi, lalu dilempar menuju *impact plates* untuk penghancuran kedua. Lalu material akan terlempar kembali ke dalam *blow bar* untuk penghancuran ketiga. Proses ini berlangsung secara terus menerus sampai material hancur sesuai dengan ukuran yang diinginkan. Kinerja optimal dari *impact crusher* sangat diperlukan karena *impact crusher* diperlukan dalam proses awal reduksi *raw material*. Pada *impact crusher* terdapat bagian *hammer* yang berfungsi untuk menghancurkan *limestone*. Pada pengecekan berkala yang dilakukan oleh PT Semen (Persero) Tbk. yang dilakukan pada tanggal 8 Januari 2015. Didapati bahwa *hammer* pada *crusher* 2 mengalami keausan (*wear*) yang tidak wajar. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan dimensi dari *hammer crusher*. Keausan ini terjadi karena ketidaksesuaian material dengan standar yang ada.



Kerusakan *hammer crusher* mengakibatkan menurunnya proses reduksi *raw material* pada *impact crusher*, sehingga dapat mengakibatkan penurunan produksi bahan baku. Karena itulah, *hammer crusher* perlu diganti dengan part yang baru atau dilakukan perlakuan yang dapat meningkatkan kekerasan material agar memenuhi standar yang ada, yaitu perlakuan panas.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh media pendingin pada proses pengerasan material SS 410 terhadap sifat mekanik dan struktur mikro?
2. Bagaimana pengaruh media pendingin pada proses pengerasan dan penemperan material SS 410 terhadap sifat mekanik dan struktur mikro?

1.3. Batasan Masalah

Agar penelitian ini menjadi lebih terarah dan memberikan kejelasan analisis permasalahan, maka dilakukan pembatasan permasalahan, sebagai berikut:

1. Data operasi seperti temperatur, kecepatan rotasi (rpm) pada *hammer crusher* sudah memenuhi standar operasional.
2. Struktur dan komposisi material homogen dan bebas cacat.
3. Desain *hammer crusher* memenuhi standar operasional.
4. Pengaruh lingkungan diabaikan.
5. Lama waktu pemindahan spesimen uji dari dapur ke media pendingin diasumsikan konstan pada semua spesimen gas.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh media pendingin pada proses pengerasan SS 410 terhadap sifat mekanik dan struktur



mikro, sebagai solusi kegagalan yang terjadi pada komponen *hammer* di *impact crusher*.

2. Menganalisis pengaruh media pendingin pada proses pengerasan dan penemperan SS 410 terhadap sifat mekanik dan struktur mikro, sebagai solusi kegagalan yang terjadi pada komponen *hammer* di *impact crusher*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberi manfaat kepada seluruh pihak yang berkaitan, yaitu mahasiswa sebagai pelaksana penelitian mampu memahami serta mengaplikasikan ilmu yang telah didapat khususnya cabang ilmu material dan metalurgi, PT. Semen Indonesia Tbk sebagai pihak utama yang menyokong penelitian dapat menerapkan hasil penelitian untuk:

1. Masukan untuk hal – hal yang dapat dilakukan agar kegagalan pada *hammer* di *impact crusher* dapat ditanggulangi.
2. Referensi pemilihan bahan serta *maintenance* pada *hammer crusher*.
3. Referensi perlakuan panas.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Impact Crusher*

Crushing merupakan proses pengurangan ukuran dari partikel – partikel solid menjadi partikel berukuran kecil menggunakan *crusher*. *Crusher* merupakan salah satu peralatan kompartibel yang digunakan pada industri mekanikal, pertambangan, dan industri lain yang serupa. *Crusher* dapat dikategorikan menjadi tiga jenis, yaitu *cone crusher*, *jaw crusher*, dan *impact crusher*. Pada PT. Semen Indonesia, jenis *crusher* yang digunakan adalah *impact crusher*, yang berfungsi untuk mereduksi *limestone* berukuran besar.

Selain itu, *crusher* dapat diklasifikasikan menjadi *primary*, *secondary*, dan *fine crusher* berdasarkan faktor pengurangan ukuran *raw material*:

a) *Primary crusher*

Raw material dari penambangan diproses terlebih dahulu dengan *primary crusher*. Besar material input lebih besar dari yang lain, dan ukuran produk *output* lebih kasar. Contoh: *jaw crusher*, dan *gyratory crusher*.

b) *Secondary crusher*

Material yang telah dihancurkan oleh *primary crusher* dilanjutkan menuju *secondary crusher* untuk pengurangan ukuran material lebih lanjut. Contoh: *cone crusher*, *reduction gyratory crusher*, *spring rolls*, dan *disk crusher*.

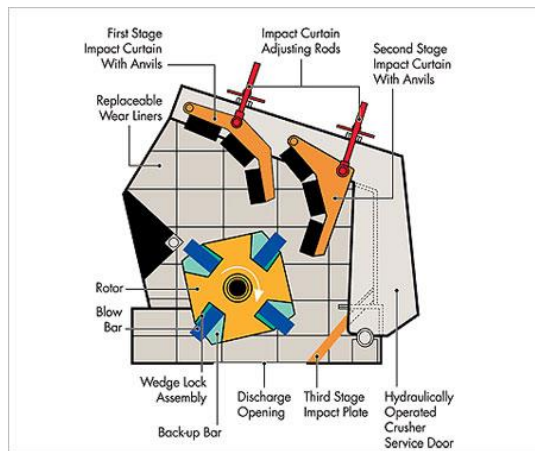
c) *Fine crusher*

Fine crusher mempunyai bagian lubang yang cukup kecil dan berguna untuk menghancurkan *feed material* menjadi produk yang lebih halus.

Rotor pada mesin *impact crusher* berputar pada arah yang tetap, dengan cara mendorong sabuk segitiga yang terhubung dengan rotor. Diatas rotor, terdapat bagian *plate* yang bergantung. Gambar 2.1 menunjukkan material memasuki



ruang penghancuran melalui lubang lalu menghantam bagian pemukul (*hammer*) dari *crusher*, sehingga *raw material* yang masuk hancur menjadi ukuran yang lebih kecil. Hal ini terjadi berdasarkan pukulan *impact* secara tiba – tiba yang memecahkan material dengan cara memukulkan material dengan *bar/anvils*. *Raw material* akan bergerak secara berulang kali di dalam ruang penghancuran yang terdiri dari rotor, *impact plate/anvil*, dan *hammer* (Verma, 2014).



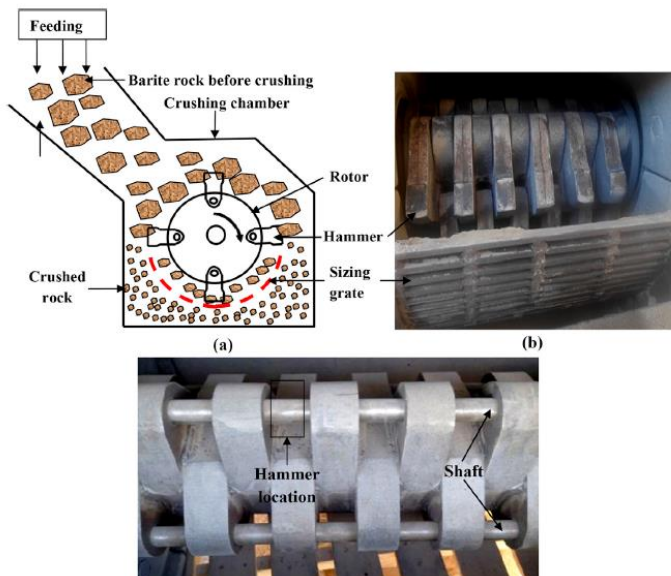
Gambar 2.1 Proses penghancuran *raw material* menggunakan *crusher*

2.2 *Hammer Crusher*

Hammer crusher adalah sebuah alat penggiling yang mempunyai rotor yang dapat berputar dan mempunyai alat pemecah berbentuk palu, dimana palu-palu tersebut digantung pada suatu rotor/piringan/silinder yang dapat berputar dengan cepat. Gambar 2.2 menunjukkan *hammer crusher*, (a) proses *crushing raw material* (b) *hammer crusher* dan (c) rotor. Alat ini juga dilengkapi dengan kisi-kisi/ayakan yang juga berfungsi sebagai penutup lubang tempat keluarnya produk. Mekanisme kerja dari *hammer crusher* yaitu, *hammer crusher* bergerak pada



kecepatan tertentu kemudian menghancurkan *limestone* yang di transportasi oleh *belt conveyor*, disini akan terjadi kontak antara ujung dari *hammer crusher* dengan *limestone*. Oleh karena itu jika hal ini terus menerus terjadi, di bawah keadaan tertentu (kecepatan, *feeding rate*, konsumsi energi, dll) dapat memicu keausan pada komponen *hammer crusher*. Biasanya, kegagalan aus ini banyak terjadi pada proses pengolahan mineral, salah satunya *limestone*. Pada umumnya, keausan yang terjadi pada *hammer* disebabkan karena *abrasive* maupun karena korosi (Saada, 2015). Pemeriksaan dan perawatan baling-baling *hammer* sangat penting karena berhubungan dengan mengubah baling-baling yang mempercepat tingkat putaran dan bergantung pada keras lunaknya obyek yang akan di giling (Edahwati, 2009).



Gambar 2.2 *Hammer Crusher*: (a) representasi skematik dari proses *crushing* (b) penampakan *hammer crusher* (c) penampakan rotor



2.3 Material *Hammer Crusher*

Material *hammer crusher* yang seharusnya dan sesuai dengan standar yang ada yaitu besi tuang putih/*white cast iron* (ASTM A532, 1999). Dalam proses pembuatannya besi tuang putih didinginkan secara cepat sehingga terbentuk fasa karbida (Fe_3C) yang metastabil dan tidak memiliki kesempatan untuk membentuk grafit. Menurut Walton (1981), karbida – karbida dalam struktur mikro besi tuang putih memberikan kekerasan yang sangat tinggi yang diperlukan untuk memecahkan (*crushing*) dan menghancurkan (*grinding*) material lain tanpa terjadi degradasi. Karena itu, besi tuang putih cocok digunakan untuk material yang membutuhkan ketahanan aus yang tinggi, karena memiliki nilai kekuatan dan kekerasan yang tinggi, dan dapat memperpanjang umur mesin. Besi tuang putih cocok sebagai aplikasi *grinding*, *milling*, *earth-handling*, dan *manufacturing industries*. Spesifikasi fasa yang terbentuk pada besi cor putih antara lain *pearlite*, dan sementit. Tabel 2.1 menunjukkan komposisi kimia besi cor putih pada ASTM A532 antara lain sebagai berikut

Tabel 2.1 Komposisi kimia pada ASTM A532

TABLE 1 Chemical Requirements, Weight %											
Class	Type	Designation	Carbon	Manganese	Silicon	Nickel	Chromium	Molybdenum	Copper	Phosphorus	Sulfur
I	A	Ni-Cr-Hc	2.8–3.6	2.0 max	0.8 max	3.3–5.0	1.4–4.0	1.0 max	...	0.3 max	0.15 max
I	B	Ni-Cr-Lc	2.4–3.0	2.0 max	0.8 max	3.3–5.0	1.4–4.0	1.0 max	...	0.3 max	0.15 max
I	C	Ni-Cr-GB	2.5–3.7	2.0 max	0.8 max	4.0 max	1.0–2.5	1.0 max	...	0.3 max	0.15 max
I	D	Ni-HiCr	2.5–3.6	2.0 max	2.0 max	4.5–7.0	7.0–11.0	1.5 max	...	0.10 max	0.15 max
II	A	12 % Cr	2.0–3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	11.0–14.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max
II	B	15 % Cr-Mo	2.0–3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	14.0–18.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max
II	D	20 % Cr-Mo	2.0–3.3	2.0 max	1.0–2.2	2.5 max	18.0–23.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max
III	A	25 % Cr	2.0–3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	23.0–30.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max

Sifat mekanik dari ASTM A532 juga bermacam-macam, salah satunya adalah kekerasan pada tiap kelas dan tipe dari material yang berbeda – beda. Tabel 2.2 menunjukkan macam-macam nilai kekerasan pada ASTM A532 (ASTM A532, 1999).

**Tabel 2.2** Kekerasan pada ASTM A532

			Hardness Value-HB											
Class	Type	Designation	Sand Cast, min ⁴									Chill Cast, min ⁹		
			As Cast or As Cast and Stress Relieved			Hardened or Hardened and Stress Relieved								
						Level 1			Level 2					
			HB	HRC	HV	HB	HRC	HV	HB	HRC	HV		HB	HRC	HV
I	A	Ni-Cr-HfC	550	53	600	600	56	660	650	59	715	600	56	660
I	B	Ni-Cr-LoC	550	53	600	600	56	660	650	59	715	600	56	660
I	C	Ni-Cr-GB	550	53	600	600	56	660	650	59	715	600	56	660
I	D	Ni-HfCr	500	50	540	600	56	660	650	59	715	550	53	600
II	A	12 % Cr	550	53	600	600	56	660	650	59	715	550	53	600
II	B	15 % Cr-Mo	450	46	485	600	56	660	650	59	715	...	...	...
II	D	20 % Cr-Mo	450	46	485	600	56	660	650	59	715	...	...	...
III	A	25 % Cr	450	46	485	600	56	660	650	59	715	...	...	...

2.4 Material *Hammer Crusher* yang Mengalami Kegagalan

Material *hammer crusher* yang digunakan pada *impact crusher* di *Plant Tuban 4 PT. Semen Indonesia* tidak sesuai dengan standar ASTM A532. Material yang digunakan merupakan *stainless steel 410* yang merupakan baja tahan karat dengan tipe *martensitic stainless steel*. Tabel 2.3 menunjukkan komposisi kimia pada SS 410 antara lain sebagai berikut

Tabel 2.3 Komposisi kimia SS 410 (ASTM A1021, 2015)

UNS Designation	Composition %			
	Grade A	Grade B	Grade C	Grade D
	403/410 SS UNS S41000	403/410 SS MOD.	XM-32 Mod	422 SS
Carbon	0.15	0.10-0.15	0.10-0.17	0.20-0.25
Manganese	1.00	0.25-0.80	0.65-1.05	0.50-1.00
Phosphorus	0.018	0.018	0.020	0.025
Sulfur	0.015	0.015	0.015	0.010
Silicon	1.00	0.50	0.35	0.50
Nickel	0.75	0.75	2.25-3.25	0.50-1.00
Chromium	11.5-13.5	11.5-13.0	11.25-12.75	11.0-12.5
Molybdenum	0.50	0.50	1.50-2.00	0.90-1.25
Vanadium	...	Report only	0.25-0.40	0.20-0.30
Tungsten	...	0.10	0.10	0.9-1.25
Nitrogen	...	0.08	0.020-0.045	Report only
Aluminum	...	0.025	0.025	0.025
Columbium	...	0.20	...	...
Cobalt	...	...	...	0.20
Titanium	...	0.05	0.05	0.025
Copper	...	0.50	0.50	0.50
Tin	...	0.05	0.05	0.02



Apabila SS 410 dilakukan proses *hardening* dan *tempering*, maka temperatur austenitisasi, waktu celup, dan media *quenching* ditunjukkan pada Tabel 2.4. Jika menginginkan material dengan ketahanan korosif maksimum dan kekuatan maksimum, maka material dipanaskan pada batas maksimal temperatur *range*. Untuk paduan yang akan ditempering pada temperatur diatas 565 °C, maka pemanasan dilakukan pada batas minimum temperatur *range* austenitisasi, karena akan meningkatkan keuletan dan ketahanan impact.

Tabel 2.4 Prosedur pengerasan dan penemperan *wrought stainless steels*
(ASM Volume 4, 1991)

Type	Austenitizing ^(a)			Tempering temperature ^(d)				Tensile strength		Hardness, HRC
	Temperature ^(b)		Quenching medium ^(c)	°C		°F				
	°C	°F		min	max	min	max	MPa	ksi	
403, 410	925-1010	1700-1850	Air or oil	565	605	1050	1125	760-965	110-140	25-31
				205	370	400	700	1105-1515	160-220	38-47

2.5 Stainless Steel

Stainless steel merupakan paduan berbasis besi, yang mengandung kromium minimum sebesar 10.5%. Kandungan kromium yang tinggi ini membentuk suatu lapisan pelindung yang stabil, mengakibatkan grup paduan ini mempunyai sifat ketahanan korosi yang bagus. Daya tahan korosi *stainless steel* disebabkan lapisan yang tidak terlihat (*invisible layer*) yang terjadi akibat oksidasi *stainless steel* dengan oksigen yang akhirnya membentuk lapisan pelindung anti korosi (*protective layer*). Sumber oksigen bisa berasal dari udara maupun air. Secara umum *protective layer* terbentuk dari reaksi kromium + oksigen



secara spontan membentuk krom-oksida. Jika lapisan oksida *stainless steel* digores/terkelupas, maka *protective layer* akan segera terbentuk secara spontan, tentunya jika kondisi lingkungan cukup mengandung oksigen. Walaupun demikian kondisi lingkungan tetap menjadi penyebab kerusakan *protective layer* tersebut. Pada keadaan dimana *protective layer* tidak dapat lagi terbentuk, maka korosi akan terjadi.

Meskipun komposisi semua jenis *stainless steel* tergantung pada kadar kromium, elemen paduan lain juga ditambahkan untuk meningkatkan sifat dari *stainless steel*. Unsur paduan yang berbeda mempunyai pengaruh khusus yang berbeda – beda. Penggabungan dari semua unsur paduan, dan perlakuan panas yang diberikan, menentukan karakteristik dari *stainless steel*.

Stainless steel mempunyai karakteristik fisik dan mekanis sebagai berikut jika dibandingkan dengan baja karbon menengah:

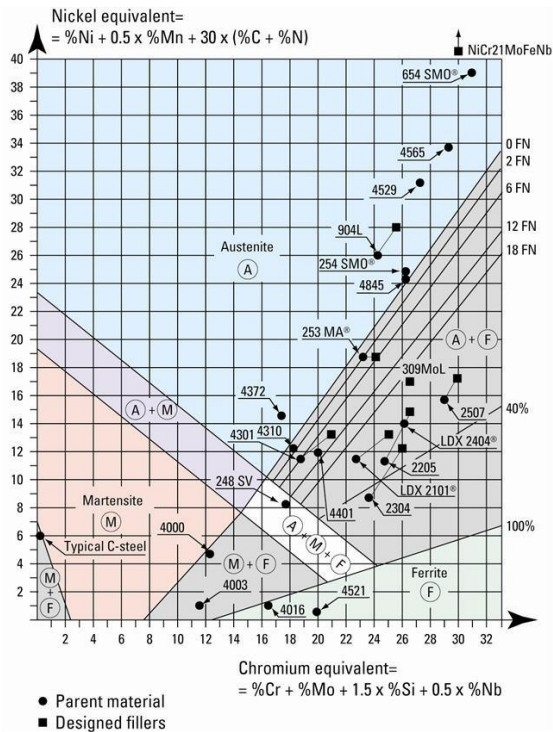
- Keuletan yang lebih tinggi
- Kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi
- Ketahanan korosif yang lebih tinggi
- Tingkat pengerasan kerja yang lebih tinggi
- Kekuatan panas yang lebih tinggi
- Ketangguhan kriogenik yang lebih tinggi

(Atlas Steels, 2013)

Efek dari unsur paduan pada struktur mikro *stainless steel* dapat diringkas pada *Schaeffler DeLong* Diagram. Diagram pada Gambar 2.3 didapatkan berdasarkan kelompok unsur panduan, yaitu penstabil ferrit dan penstabil austenit. Jika suatu unsur paduan merupakan penstabil austenit, maka unsur paduan tersebut mempunyai kemampuan untuk membentuk austenit, seperti nikel. Jika suatu unsur paduan berupa penstabil ferrit, maka unsur paduan tersebut memiliki kemampuan untuk membentuk ferrit, seperti kromium. Hal ini menjadi dasar bagi perhitungan *Schaeffler DeLong* diagram, ditunjukkan pada persamaan (2.1) (Outokumpu, 2013).



Stainless Steel secara garis besar dapat dijumpai didalam lingkup industri seperti pengolahan makanan, pabrik kimia, teknologi perpipaan, dan lain sebagainya. Berdasarkan kadar unsur paduan yang terkandung, *stainless steel* dibagi menjadi empat kategori, yaitu *ferritic stainless steel*, *austenitic stainless steel*, *martensitic stainless steel*, dan *duplex stainless steel*.



Gambar 2.3 Diagram *Schaeffler DeLong*

$$\text{Nickel equivalent} = \%Ni + 0,5 \times \%Mn + 30 \times (\%C + \%N)$$

$$\text{Chromium equivalent} = \%Cr + \%Mo + 1.5 \times \%Si + 0.5 \times \%Nb \dots\dots (2.1)$$



2.5.1 *Martensitic Stainless Steel*

Pada dasarnya baja ini adalah baja *chrom* dengan 10,5 – 18 % *chrom*. Yang termasuk dalam kelompok ini antara lain tipe 403, 410, 416, 420, 440A, 501, dan 502. Kelompok baja tahan karat ini bersifat magnetik, dapat dikeraskan, dapat *dicold-work* dengan mudah, terutama dengan kandungan karbon rendah, *machinability* cukup baik, ketangguhan baik, juga dapat *dihot-work* dan memperlihatkan sifat tahan korosi yang baik. Sifat tahan korosinya akan paling baik bila dalam kondisi dikeraskan, tetapi masih belum sebaik sifat tahan korosi dari kelompok ferritik dan austenitik (Suherman, 1999).

Kelas *martensitic stainless steel* merupakan grup terkecil dalam *stainless steel*. *Martensitic stainless steel* serupa dengan baja paduan. Keduanya memiliki struktur yang familiar dengan grup *ferritic* dengan tipe kristal *body centered tetragonal*. Untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan dari kelas *martensitic*, kandungan karbon dalam grup ini lebih banyak jika dibandingkan dengan kelas lain. Terkadang penambahan nitrogen juga diberikan untuk meningkatkan kekuatan. Dalam kelas ini tidak terdapat, atau hanya terdapat sedikit unsur nikel, dan terkadang terdapat penambahan unsur molibdenum. Dengan penambahan nikel dan pengurangan kadar karbon, dapat meningkatkan *weldability* dari grup *martensitic stainless steel* (Outokumpu, 2013).

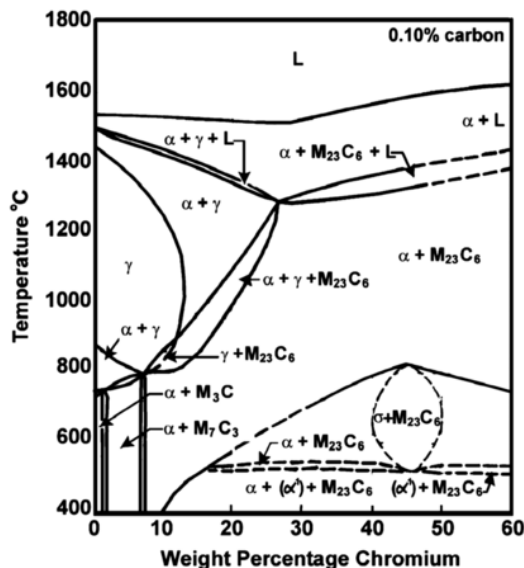
Proses perlakuan panas pada *martensitic stainless steel* pada dasarnya sama dengan baja paduan, dimana kekuatan dan kekerasan maksimum tergantung pada kadar karbon. Perbedaan keduanya adalah, tingginya kadar paduan pada *martensitic stainless steel* mengakibatkan transformasi yang terbentuk menjadi *sluggish*, dan *martensitic stainless steel* memiliki kemampuan untuk dikeraskan yang tinggi, sehingga kekerasan maksimum dapat diperoleh dari pendinginan udara (ASM Volume 4, 1991).



2.6 Diagram Fase SS 410

Standar bagi stainless steel tergolong sebagai *martensitic stainless steel* adalah memiliki kadar Cr minimal sebesar 10,50 % sampai dengan 18 %. Unsur karbon yang terkandung di dalamnya bisa mencapai 1,2 %. Karena kandungan unsur utama (Cr dan C) yang tinggi, maka struktur mikro yang terbentuk adalah martensit yang didapatkan setelah dilakukan proses perlakuan panas.

Berdasarkan Gambar 2.4 *stainless steel* dengan kadar karbon 0,1 % dan 10 % Cr mempunyai fase $\alpha + M_{23}C_6$ pada temperatur kamar. Pada temperatur ini, struktur kristal yang terbentuk adalah *body-centered cubic* (BCC), dan kaya akan kandungan fase Cr, namun mempunyai ketangguhan yang rendah. Ketika material dipanaskan hingga temperatur 315 - 925°C, unsur Cr dan C bereaksi membentuk presipitasi karbida. Presipitasi karbida terbentuk pada batas butir dan juga di dalam butir.



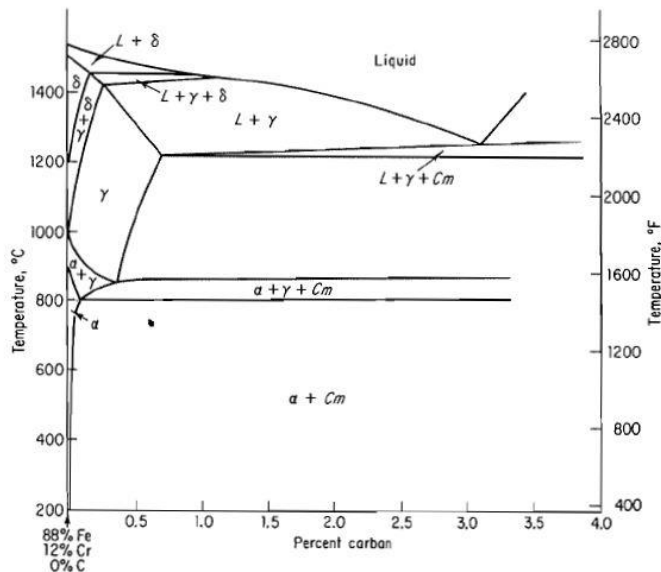
Gambar 2.4 Diagram fase 0.10 % karbon



Material *hammer crusher* yang mengalami keausan merupakan *stainless steel* tipe martensitik. Dimana *stainless steel* dengan tipe ini mempunyai kandungan Cr sebanyak 10% dan kadar karbon sebesar 0.1%. Sehingga struktur yang terbentuk adalah martensit yang didapatkan setelah proses perlakuan panas. Material tipe ini mempunyai sifat yang dapat dikeraskan dan ketahanan korosif yang baik.

2.7 Diagram Fase Fe – 12 % wt Cr - C

Material *hammer crusher* yang sesuai standar ASTM A532 yaitu besi cor putih (*white cast iron*) dengan kadar *chromium* yang sangat tinggi yaitu 12 % Cr. Besi tuang putih yang biasa diproduksi adalah besi tuang putih hipoeutektik, pada Gambar 2.5 menunjukkan diagram fasa Fe – Fe₃C yang mengandung unsur Cr sebesar 12%.



Gambar 2.5 Diagram fase baja krom pada 12% Cr
(Suherman, 2003)



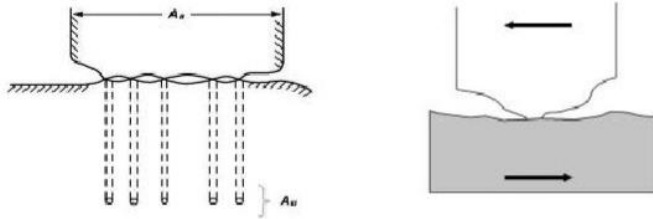
Jika memplotkan material *hammer crusher* standar dengan kadar karbon 2,2 % C, maka saat dilakukan pemanasan diatas temperatur austenit dan kemudian dilakukan pendinginan secara lambat akan diperoleh fasa perlit, ledeburit, dan sementit. Mengingat bahwa sementit adalah struktur yang sangat keras dan getas maka besi tuang putih, yang mengandung sejumlah besar sementit memiliki sifat mekanik yang sangat keras, tahan aus tetapi sangat getas dan sulit di *machining*. Karenanya besi tuang putih jarang dipergunakan, ia dipergunakan hanya bila sifat tahan aus sangat diperlukan tanpa perlu keuletan, misalnya untuk *liner* dari *cement mixer*, *ball mill*, alat – alat *milling* lainnya, dan *extrusion nozzle*. Biasanya besi tuang putih dipergunakan untuk bahan dasar pembuatan besi tuang mampu tempa (*malleable cast iron*) (Avner, 1974).

2.8 Keausan

Keausan adalah hilangnya sejumlah lapisan permukaan material karena adanya gesekan antara permukaan padatan dengan benda lain. Keausan biasa terjadi pada setiap material yang mengalami gesekan dengan material lain. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respons material terhadap sistem luar (kontak permukaan). Penyebab keausan dapat dikategorikan menjadi tiga macam, yaitu *mechanical*, *chemical*, and *thermal wear*. Jenis keausan yang terjadi pada material *hammer crusher* disebabkan karena *mechanical wear*. Dimana keausan karena perilaku mekanis digolongkan menjadi empat, yaitu:

a) *Adhesive wear*

Terjadi bila kontak permukaan dari dua material atau lebih mengakibatkan adanya pelekatan satu sama lain (*adhesive*), sehingga mengakibatkan pelepasan/pengoyakan salah satu material seperti pada Gambar 2.6

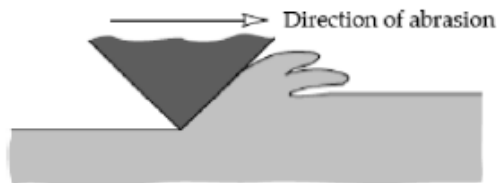


Gambar 2.6 Mekanisme *adhesive wear*

b) *Abrasive wear*

Terjadi apabila suatu partikel keras dari material tertentu meluncur pada permukaan material lain yang lebih lunak sehingga terjadi pemotongan material yang lebih lunak, seperti pada Gambar 2.7. Tingkat keausan pada mekanisme ini ditentukan oleh derajat kebebasan (*degree of freedom*) partikel keras tersebut. Faktor yang berperan dalam abrasive wear antara lain adalah:

- Material *hardness*
- Kondisi struktur mikro
- Ukuran abrasif
- Bentuk abrasif



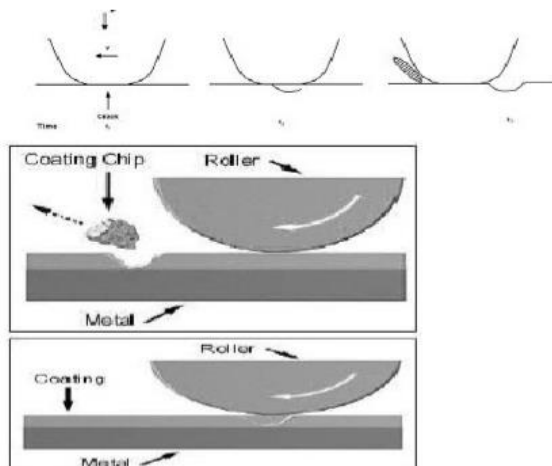
Gambar 2.7 Mekanisme *abrasive wear* akibat proses *cutting* (Stachowiak, 2000)

c) *Fatigue wear*

Merupakan mekanisme keausan yang relatif berbeda jika dibandingkan dengan mekanisme sebelumnya, yaitu dalam hal interaksi permukaan. Baik



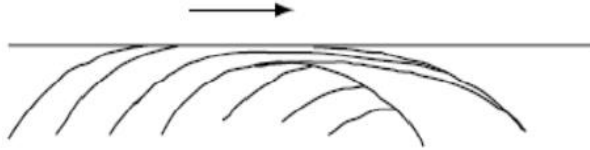
keausan *adhesive* maupun *abrasive* melibatkan hanya satu interaksi, sementara pada keausan *fatigue* dibutuhkan interaksi multi. Keausan ini terjadi akibat interaksi permukaan dimana permukaan yang mengalami beban berulang akan mengarah kepada pembentukan retakan – retakan mikro. Retakan – retakan mikro tersebut pada akhirnya menyatu dan menghasilkan pengelupasan material. Tingkat keausan sangat bergantung pada tingkat pembebanan. Gambar 2.8 menunjukkan mekanisme keausan *fatigue*.



Gambar 2.8 Mekanisme *fatigue wear*

d. *Flow wear*

Keausan ini terjadi jika partikel permukaan yang lebih lunak mengalir seperti meleleh dan tergeser plastis akibat kontak dengan lain, ditunjukkan pada Gambar 2.9



Gambar 2.9 *Flow wear* oleh penumpukan aliran geseran plastis (Stachowiak, 2000)

2.9 Kegagalan

Kegagalan mekanik dapat didefinisikan sebagai perubahan ukuran, bentuk, atau struktur properti material, mesin, maupun bagian *part* mesin itu sendiri yang berpengaruh pada fungsi mesin. Merupakan tanggung jawab utama dari perancang mesin untuk menjamin rancangan yang dibuat sesuai dengan kebutuhan pasar. Dalam perancangan mesin yang sempurna maka suatu rancangan mesin yang meskipun akan mengalami kegagalan diharapkan dapat memberikan *lifetime* yang terbaik.

2.9.1 Analisis Kegagalan

Analisis kegagalan dapat diartikan sebagai pemeriksaan/pengujian terhadap komponen - komponen atau struktur yang mengalami kerusakan beserta kondisi yang menyebabkan kegagalan dengan tujuan untuk mengetahui penyebab dari kegagalan tersebut. Jadi tujuan utama dari analisis kegagalan adalah untuk mengetahui mekanisme terjadinya kegagalan serta memberikan solusi-solusi yang dapat dilaksanakan untuk menanggulangi masalah kegagalan tersebut.

Dengan kata lain, analisis kegagalan berujung pada observasi pada komponen-komponen yang rusak. Pengamatan pola patahan yang rusak adalah kunci bagi seluruh proses analisis kegagalan, oleh sebab itu pengamatan secara makrokopis dan mikrokopis harus dilaksanakan secara bertahap. Selain itu pengujian mekanik juga diperlukan karena secara umum kegagalan disebabkan oleh gaya-gaya yang bekerja dari lingkungan kerja komponen.



Menurut sumber-sumber penelitian yang ada di dunia industri (Brooks, 2002). Faktor penyebab kegagalan yang sering terjadi di dunia industri dapat dikarenakan :

1. Faktor kesalahan pemilihan material

Hasil penelitian mengenai faktor kegagalan material yang dominan yaitu faktor kesalahan dalam memilih material. Tabel 2.5 dibawah ini menunjukkan statistik tentang permasalahan dalam kasus kegagalan material.

Tabel 2.5 Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin (Brooks, 2002)

Permasalahan	%
Kesalahan pemilihan material	38
Cacat produksi	15
Kesalahan perlakuan panas	15
Kesalahan desain mekanik	11
Kondisi operasi yang berlebihan	8
Kondisi lingkungan yang tidak terkontrol	6
Pemeriksaan yang kurang baik	5
Material yang tidak jelas	2

2. Perawatan Komponen yang Kurang Baik

Proses perawatan komponen mesin yang kurang baik termasuk salah satu penyebab kegagalan yang paling dominan. Tabel 2.6 menunjukan data mengenai kasus kegagalan material yang terjadi.



Tabel 2.6 Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen mesin (Brooks, 2002)

Permasalahan	%
Perawatan yang kurang baik	44
Cacat saat fabrikasi	17
Defisiensi desain	16
Pemakaian yang abnormal	10
Cacat material	7
Penyebab yang tidak jelas	6

3. Kesalahan dalam perancangan komponen

Faktor kesalahan dalam proses perancangan komponen mesin adalah sebagai berikut

- a. Kegagalan ulet akibat pembebanan yang melebihi kekuatan material
- b. Kegagalan getas akibat beban kejut
- c. Kegagalan pada temperatur tinggi (pemuluran)
- d. *Static delayed fracture*
- e. Proses perancangan yang terlalu banyak memicu konsentrasi tegangan seperti takikan
- f. Analisa tegangan komponen yang kurang detail yang menyebabkan rawan terjadi kegagalan akibat *overload*
- g. Kesalahan dalam menentukan material dari komponen mesin sehingga mempengaruhi hitungan yang dilakukan.



4. Kondisi kerja yang ekstrim

Permasalahan yang spesifik dalam kegagalan komponen mesin akibat kondisi kerja yang ekstrim disajikan dalam Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Penyebab kegagalan dalam komponen mesin (Brooks, 2002)

Penyebab Kegagalan	%
Korosi	29
Kelelahan (<i>fatigue</i>)	25
Kegagalan getas (<i>brittle fracture</i>)	16
Kelebihan beban	11
Korosi temperatur tinggi	7
Korosi retak tegang, korosi lelah, penggetasan hidrogen	6
Pemuluran (<i>creep</i>)	3
Abrasi, erosi	3

2.10 Pengujian Komposisi

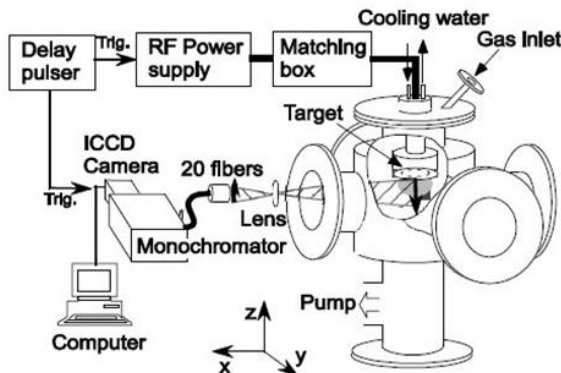
Pengujian komposisi kimia merupakan suatu pengujian untuk mengetahui kandungan unsur kimia yang terdapat pada suatu logam benda uji. Komposisi kimia dari logam sangat penting untuk menghasilkan sifat logam yang baik. *Spectrometer* adalah alat yang mampu menganalisa unsur-unsur logam induk dan campurannya dengan akurat, cepat dan mudah dioperasikan.

Pengujian OES dilakukan untuk mengetahui persentase komposisi unsur kimia dalam spesimen uji. Standar pengujian yang digunakan berdasarkan ASTM A571 yang berisi tentang



metode analisis komposisi kimia untuk baja, baja tahan karat, dan baja paduan lain. Preparasi spesimen dilakukan dengan mengamplas permukaan agar permukaan menjadi rata dan bersih.

Pada *emission spectroscopy*, energi yang diperoleh dari atom yang mengemisikan radiasi elektromagnetik dikumpulkan dan dianalisis oleh spektrometer. Gambar 3.7 menunjukkan skema ilustrasi OES. Emisi yang terbentuk pada frekuensi tertentu dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis unsur pada spesimen uji. Berdasarkan teori kuantum, elektron menempati level energi yang terendah saat kondisi normal (*ground state*). Namun, ketika atom diberi energi potensial dari luar maka elektron dapat tereksitasi keluar kulit menempati tingkat energi yang lebih tinggi. Kondisi tersebut dinamakan kondisi tereksitasi. Elektron yang keluar ditangkap oleh detektor dan sistem komputer akan mengenalinya melalui konfigurasi energi dari elektronnya. Jadi unsur yang terdapat pada spesimen dapat ketahui baik secara kualitatif maupun kuantitatif (Nayan, 2009).



Gambar 2.10 Skema ilustrasi OES (Nayan, 2009)

2.11 Pengujian Kekerasan

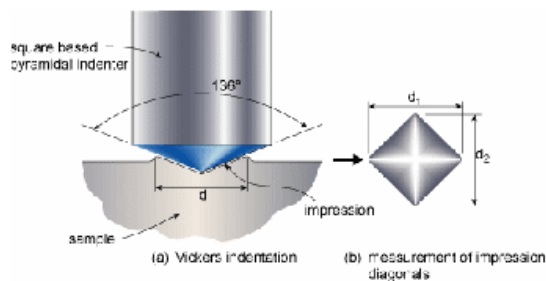
Kekerasan dapat didefinisikan sebagai kemampuan suatu bahan untuk dapat menahakan penetrasi benda yang lebih keras.



Pengujian kekerasan adalah salah satu metode yang paling sering digunakan untuk mengetahui karakteristik suatu benda uji. Pada model ini kekerasan suatu material diukur terhadap tahanan plastis dari permukaan suatu material komponen konstruksi mesin dengan spesimen standart terhadap *indentor*. Terdapat berbagai macam uji kekerasan indentasi, antara lain: uji kekerasan *Brinell*, *Vickers*, dan *Rockwell*.

2.11.1 Uji Kekerasan *Vickers*

Uji kekerasan *Vickers* menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136° . Sudut ini dipilih karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan *brinell*. Angka kekerasan piramida intan (*DPH*), atau angka kekerasan *Vickers* (*VHN* atau *VPH*), didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan (Dieter, 1987). Proses indentasi dengan metode *vickers* dapat dilihat pada Gambar 2.11



Gambar 2.11 Proses indentasi metode *vickers*

2.12 Pengamatan Struktur Mikro

Suatu logam mempunyai sifat mekanik yang tidak hanya tergantung pada komposisi kimia suatu paduan, tetapi juga tergantung pada struktur mikronya. Suatu paduan dengan



komposisi kimia yang sama dapat memiliki struktur mikro yang berbeda, dan sifat mekaniknya juga akan berbeda. Hal ini bergantung pada proses pengerjaan dan proses perlakuan panas yang diterima selama proses pengerjaan.

Struktur mikro adalah penggambaran dari kumpulan fase – fase yang dapat diamati melalui teknik metalografi. Struktur mikro suatu logam dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop optik. Sebelum pengamatan dengan mikroskop optik, logam yang akan diamati perlu dipersiapkan terlebih dahulu, yaitu:

➤ *Cutting*

Pengambilan bagian sampel yang representatif dengan menggunakan gergaji, plasma bertekanan tinggi, dll.

➤ *Mounting*

Pelapisan sampel logam dengan zat organik seperti resin, untuk mempermudah penanganan sampel selama persiapan metalografi.

➤ *Grinding*

Teknik pemerataan permukaan sampel dengan menggunakan kertas/bahan abrasif. Ukuran abrasif yang digunakan mulai dari 40 sampai 1200 mesh. Untuk menghindari pengaruh temperatur gesekan, *grinding* dilakukan dengan cara basah. Teknik *grinding* dapat dilakukan dengan *hand grinding*, *automatic machine*, atau *lapping*.

➤ *Polishing*

Polishing merupakan tahap terakhir dari pemerataan permukaan sampel. Sampel yang akan diteliti harus mempunyai permukaan yang rata, bebas goresan, dan tampak seperti cermin.

➤ *Etching*

Etching adalah pemberian reagen kimia (*etchant*) pada permukaan hasil *polishing* untuk menimbulkan penampakan khusus, seperti fasa, batas butir, dislokasi dan struktur mikro tertentu.



2.13 Pengujian Keausan *Pin on Disc*

Saat mesin beroperasi, komponen – komponen mesin akan saling bersinggungan dan mengalami sebuah kontak juga gesekan sesama komponennya, misalkan gesekan piston terhadap dinding silinder di dalam motor bakar. Akibat dari kerja komponen tersebut maka akan timbul pengikisan permukaan komponen atau sering disebut keausan (*wear*). Mekanisme pengujian keausan dapat menggunakan alat *pin-on-disc*. Alat ini digunakan untuk memperhitungkan keausan dan gesekan material komponen tersebut.

Mesin *pin-on-disc* adalah alat uji gesek dan keausan yang terdiri dari *pin* dan *disc*. *Pin* memiliki berbagai bentuk dan ukuran, umumnya berbentuk bola atau silinder batang, sedangkan *disc* berbentuk plat berdiameter dengan tebal tertentu. (Prabowo dkk, 2012). Pada proses pengujian menggunakan *pin-on-disc*, beban yang digunakan dapat divariasikan.

Mekanisme kerja dari pengujian ini adalah dengan menempatkan spesimen uji secara tegak lurus pada piringan *disc* berputar yang terpasang amplas pengabrasi, dan diberikan beban sebagai gaya penekan spesimen. Sebelum dan sesudah pengujian dilakukan penimbangan spesimen uji untuk melihat massa yang hilang saat proses penggerusan.

2.14 *Heat Treatment*

Proses perlakuan panas dapat didefinisikan sebagai proses perubahan sifat mekanik material/logam dengan cara mengubah struktur mikro, melalui pengaturan pemanasan dan laju pendinginan (Supriyanto, 2012).

Perlakuan panas adalah kombinasi anantara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Proses perlakuan panas bertujuan untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal (*internal stress*), menghaluskan ukuran butir kristal dan meningkatkan kekerasan atau tegangan tarik logam (Handoyo, 2015). Beberapa faktor yang dapat



mempengaruhi perlakuan panas, yaitu temperatur pemanasan, waktu yang diperlukan pada temperatur pemanasan, laju pendinginan dan lingkungan atmosfer. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan.

Secara umum *heat treatment* dibagi dalam tiga tahap, yaitu:

1. Pemanasan sampai temperatur tertentu sesuai dengan proses *heat treatment* dan dengan kecepatan tertentu tergantung dari dimensi dan konduktifitas perpindahan panas benda kerja.
2. Mempertahankan temperatur untuk waktu tertentu, sehingga temperatur merata pada seluruh bagian benda kerja.
3. Pendinginan dengan media pendingin yang bergantung pada proses *heat treatment* dan benda kerja. Pada baja karbon rendah dan sedang biasanya digunakan air sebagai media pendingin, karena laju pendinginannya cukup cepat sehingga terbentuk martensit. Sedangkan pada baja karbon tinggi dan baja paduan digunakan minyak sebagai media pendingin dengan laju pendinginan yang lebih lambat. (Yani, 2008)

2.14.1 Hardening

Hardening adalah proses pemanasan logam sampai temperatur di atas titik kritis (daerah austenit), ditahan sejenak sesuai dengan waktu tahan yang dibutuhkan agar seluruh benda kerja memiliki struktur austenit dan kemudian didinginkan pada media pendingin. Tujuan proses ini adalah untuk mendapatkan struktur kristal martensit. Martensit adalah struktur yang harus dimiliki baja agar memperoleh kenaikan kekerasan yang sangat besar. Martensit berstruktur jarum karena jaringan atomnya berbentuk tetragonal.

Kandungan karbon sangat penting terhadap kemampuan suatu baja untuk dikeraskan. Keuletan berkurang dengan meningkatnya kandungan karbon, kandungan karbon pada umumnya dijaga sekitar 0,45% pada baja teknik. Unsur paduan



tidak meningkatkan kekerasan martensit secara signifikan, tetapi *hardenability*, kedalaman dari permukaan struktur mikro martensit dapat dihasilkan pada baja (Campbell, 2008).

2.14.2 Tempering

Tempering merupakan perlakuan untuk menghilangkan tegangan dalam dan menguatkan baja dari kerapuhan. *Tempering* didefinisikan sebagai proses pemanasan logam setelah dikeraskan pada temperatur *tempering* (di bawah temperatur kritis), yang dilanjutkan dengan proses pendinginan. Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan, melalui proses *tempering* kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun pula sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lebih lunak, proses ini berbeda dengan proses anil (*annealing*) karena sifat-sifat fisis dapat dikendalikan dengan cermat.

Tempering tidak digunakan untuk mengeraskan baja. Baja dikeraskan dengan austenitisasi dan *quenching*. *Tempering* dilakukan untuk mengembalikan keuletan yang hilang saat dikeraskan dan biasanya penghalusan (*softening*) diperoleh dengan *tempering*.

Menurut tujuannya proses *tempering* dibedakan sebagai berikut:

- a) *Tempering* pada temperatur rendah (150 – 300°C)
Tempering ini bertujuan untuk mengurangi tegangan – tegangan kerut dan kerapuhan dari baja, biasanya untuk alat – alat potong, mata bor dan sebagainya.
- b) *Tempering* pada temperatur menengah (300 – 550°C)
Tempering pada temperatur menengah bertujuan untuk menambah keuletan, sehingga kekerasannya sedikit berkurang. Proses ini digunakan pada alat – alat kerja yang mengalami beban berat, misalnya palu, pahat, dan pegas.



- c) *Tempering* pada temperatur tinggi (550 – 650°C)
Tempering pada temperatur tinggi bertujuan untuk memberikan daya keuletan yang besar dan menurunkan nilai kekerasan, misalnya pada roda gigi, poros batang penggerak, dan sebagainya.

2.14.3 Quenching

Pemilihan media pendingin ditentukan oleh kekerasan, ketebalan, bentuk material, dan laju pendinginan yang dibutuhkan untuk menghasilkan mikrostruktur yang diinginkan (Handoyo, 2015). Media pendingin yang paling banyak digunakan adalah media liquid atau gas. Media liquid yang digunakan adalah:

- Air
Pendinginan dengan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat. Air memiliki karakteristik yang khas yang tidak dimiliki oleh senyawa kimia yang lain. Karakteristik tersebut adalah sebagai berikut (Dugan, 1972). Pada kisaran temperatur yang sesuai bagi kehidupan, yakni 0°C (32° F) – 100° C, air berwujud cair. Temperatur 0° C merupakan titik beku (*freezing point*) dan temperatur 100°C merupakan titik didih (*boiling point*) air. Perubahan temperatur air berlangsung lambat sehingga air memiliki sifat sebagai penyimpan panas yang sangat baik. Sifat ini memungkinkan air tidak menjadi panas atau dingin dalam seketika.
- Minyak atau Oli
Minyak yang digunakan sebagai media pendingin dalam perlakuan panas benda kerja yang diolah terlebih dahulu. Selain minyak yang khusus digunakan sebagai bahan pendingin pada proses perlakuan panas, dapat juga digunakan oli, minyak bakar atau solar. Derajat kekentalan (viskositas) berpengaruh pada *severity of quench*. Minyak mineral banyak dipilih karena kapasitas pendinginannya cukup baik. Pada umumnya minyak memiliki kapasitas pendinginan tertinggi sekitar



temperatur 600°C, dan agak rendah pada temperatur pembentukan martensit. Laju pendinginan minyak bisa dinaikkan dengan tiga cara yaitu dengan agitasi, memanaskan minyak pada temperatur diatas temperatur kamar dan mengemulsikan air (*water soluble*). Jenis minyak mineral yang sering dipakai untuk aplikasi quenching pada industri yaitu oli khusus, *oil quench*.

- Udara

Udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat. Untuk keperluan tersebut udara yang disirkulasikan ke dalam ruangan pendingin dibuat dengan kecepatan yang rendah. Udara sebagai pendingin akan memberikan kesempatan kepada logam untuk membentuk Kristal-kristal dan kemungkinan mengikat unsur-unsur lain dari udara. Adapun pendinginan pada udara terbuka akan memberikan oksidasi oksigen terhadap proses pendinginan.

Kemampuan dari media pendingin untuk mengeraskan baja tergantung pada karakteristik pendinginannya atau media pendingin. Keefektivitasan dari proses *quenching* tergantung pada komposisi baja, dan tipe media pendingin. (ASM Volume 4, 1991)

2.15 Penelitian Sebelumnya

2.15.1 Analisis Kegagalan pada *Hammer Crusher* di *Clinker Cooler* Tuban 1, PT. Semen Indonesia

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab kegagalan pada material *hammer crusher* pada *clinker cooler* di PT. Semen Indonesia (Tbk). Ketika dilakukan inspeksi secara berkala pada *hammer crusher*, ditemukan keausan yang tidak wajar pada permukaan material. *Hammer crusher* yang pada awalnya memiliki ukuran panjang 320 mm, panjangnya menjadi 277 mm. Padahal *life time* desain dari *hammer crusher* ini adalah 1 tahun, namun dalam waktu 6 bulan telah terjadi keausan.



Analisis kegagalan dilakukan dengan metode pengujian. Pengujian pertama adalah uji komposisi menggunakan OES. Dari pengujian tersebut, didapati jenis material yang digunakan yaitu baja ASTM A681 Tipe D2. Dilanjutkan dengan pengujian kekerasan pada daerah aus, dan jauh dari aus menggunakan metode *vickers*. Dari pengujian tersebut didapatkan bahwa pada daerah aus nilai kekerasan rata – rata sebesar 569.8 HVN, sedangkan pada daerah jauh dari aus nilai kekerasan rata – rata sebesar 481 HVN. Daerah aus memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dikarenakan strain hardening. Pada pengujian impak di daerah aus dan jauh dari aus menggunakan *Charpy-V-Notch*, didapatkan bahwa pada daerah aus nilai energi impak rata – rata sebesar 1.917 joule dan nilai kekuatan impak rata – rata sebesar 0.023 joule/mm². Sedangkan pada daerah jauh dari aus nilai energi impak rata – rata sebesar 1.733 joule dan nilai kekuatan impak rata – rata 0.021 joule/mm². Pola patahan yang terjadi pada daerah aus hammer adalah pola perpatahan getas. Berdasarkan pengamatan struktur mikro, pada daerah jauh dari aus terlihat fasa perlit, martensit, dan karbida eutektik. Pada daerah aus didapati fasa martensit, perlit, dan karbida eutektik. Karbida krom terbentuk karena adanya unsur Cr yang tinggi. Pada pengujian komposisi didapatkan nilai Cr sebesar 17.5%. Terbentuknya karbida krom meningkatkan sifat mampu keras, ketangguhan, dan ketahanan abrasi yang baik pada material. Material *hammer crusher* yang berada pada daerah jauh dari aus *hammer crusher* memiliki bentuk karbida krom yang lebih halus, dibandingkan pada daerah aus *hammer crusher*. Hal ini kemudian berpengaruh pada kekerasan material di daerah tersebut. Pada besi tuang putih paduan krom tinggi, struktur karbida halus dalam matriks akan memberikan kombinasi yang sangat baik antara kekerasan dan ketangguhan jika dibandingkan dengan struktur karbida kasar (Jiyang, 2009).

Setelah dilakukan beberapa pengujian pada material *hammer crusher* di *clinker cooler*, didapatkan bahwa kegagalan pada material disebabkan karena beberapa faktor, yaitu komposisi



material, dan nilai ketangguhan material. Berdasarkan ASTM A532, Material standar yang seharusnya digunakan untuk adalah besi tuang putih martensitik yang memiliki sifat ketahanan aus dan kekerasan yang tinggi. Namun, material yang digunakan pada *hammer crusher* di PT. Semen Indonesia tidak sesuai dengan standar, karena itulah terdapat perbedaan kekerasan dan kekuatan. Hasil pengujian impak menunjukkan jika dibandingkan dengan besi tuang putih martensitik, maka nilai ketangguhan material *hammer crusher* ini sangat getas. Kekerasan pada suatu material dapat mempengaruhi ketangguhan material tersebut, semakin keras material tersebut maka ketangguhannya akan semakin menurun. (Septianto, 2013)

Sehingga dapat disimpulkan bahwa kegagalan disebabkan keausan yang terjadi akibat ketidaksesuaian pada unsur bahan utama, salah satunya karena kurangnya kadar karbon. Penyebab lain dikaenakan perubahan sifat mekanik pada material, dimana nilai kekerasan material *hammer crusher* naik namun menurunkan keuletan serta nilai energi impak material jauh dibawah standar. Hal tersebut dapat disebabkan karena proses operasional yang mengakibatkan gesekan secara terus menerus sehingga ketangguhan material menjadi lebih rendah dan kekerasan material meningkat karena terjari strain hardening namun menjadikan material menjadi lebih getas.

2.15.2 Analisis Pengaruh Variasi Waktu Tahan dan Media Pendingin Proses *Hardening* pada Sifat Kekerasan Baja AISI 8655 Sebagai Solusi Kegagalan pada *Hammer Crusher*

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor penyebab terjadinya kegagalan pada komponen *hammer crusher* dan menganalisis pengaruh proses *hardening* dengan variasi waktu tahan dan media pendingin sebagai solusi kegagalan. Material *hammer crusher* yang digunakan mengalami keausan yang tidak wajar, padahal umur pakainya selama 2 tahun namun hanya mampu bertahan selama 8 bulan. Material *hammer crusher* mengalami pengurangan dimensi, yang panjang awalnya sebesar



310 mm menjadi 247 mm. Karena itu dilakukan pengujian untuk menentukan penyebab kegagalan, dan perlakuan apa yang cocok untuk meningkatkan ketahanan aus.

Uji komposisi dengan OES menunjukkan bahwa material *hammer crusher* yang digunakan merupakan baja AISI 8655. Berdasarkan pengujian kekerasan dengan metode *Brinell*, didapati bahwa pada daerah yang jauh dari gigi diperoleh nilai sebesar 243 BHN, dan pada daerah gigi sebesar 276 BHN. Pada pengujian dampak didapatkan energi *impact* sebesar 2.6 joule. Selanjutnya dilakukan pengujian struktur mikro pada material *hammer crusher* sebelum dilakukan perlakuan panas dan struktur awal dimana material mengalami keausan. Pengamatan struktur mikro menunjukkan fasa perlit dan ferit.

Hasil analisis kegagalan menunjukkan bahwa spesifikasi material pada komponen *hammer crusher* tidak sesuai dengan standar ASTM A532. Pada penelitian ini dilakukan upaya *hardening* untuk memperbaiki sifat kekerasan dari komponen tersebut agar mendekati standar yang seharusnya. *Hardening* dilakukan pada temperatur 850°C dengan waktu tahan 30 dan 60 menit menggunakan media pendingin udara, oli, dan air. Setelah dikeraskan, fasa yang terdapat pada material *hammer crusher* adalah *acicular bainite* (bainit bilah) yang lebih banyak dan *lath martensite*. Struktur mikro yang terbentuk pada perlakuan *holding time* selama 30 menit dengan pendinginan udara adalah *lath martensite* bentuk jarum yang pendek – pendek, dengan nilai kekerasan sebesar 520 HBN dan energi *impact* sebesar 2.5 joule. Sedangkan pada spesimen dengan *holding time* 30 menit dan pendinginan oli, fasa yang terbentuk yaitu *acicular bainite* yang lebih sedikit, dan *lath martensite* yang bentuknya lebih panjang dan *continuous*, dan nilai kekerasan sebesar 540 HBN dan energi *impact* sebesar 2.1 joule. Pada spesimen dengan perlakuan *holding time* 30 menit dan pendinginan air, struktur mikronya menunjukkan *acicular bainite* dan *lath martensite* ditunjukkan dengan warna hitam yang berbentuk seperti bilah, dan nilai kekerasan sebesar 552 HBN dan energi *impact* sebesar 2 joule.



Pada material dengan perlakuan *holding* 60 menit dan pendinginan udara, fasa yang terbentuk adalah *acicular bainite* yang banyak dan *lath martensite* dengan nilai kekerasan 491 HBN dan energi *impact* sebesar 7.5 joule. Pada spesimen dengan perlakuan *holding* 60 menit dan pendinginan oli, fasa yang terbentuk yaitu *acicular bainite* yang lebih sedikit dan *lath martensite* yang lebih panjang dan terlihat *continous*, dengan nilai kekerasan 518 HBN dan energi *impact* sebesar 3.8 joule. Pada spesimen dengan perlakuan *holding* 60 menit dan pendinginan air fasa yang terbentuk adalah *acicular bainite* yang sangat sedikit, serta *lath martensite* yang lebih tegang dan *continous*, dan nilai kekerasan sebesar 548 HBN dan energi *impact* sebesar 2.8 joule.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan selama penelitian ini, faktor-faktor penyebab kegagalan dapat dibagi menjadi beberapa faktor, yaitu komposisi material yang tidak sesuai, dan kekerasan material yang nilainya lebih rendah dari kekerasan material standar *hammer crusher*. (Brooks, 2002) Material standar untuk *hammer crusher* seharusnya memiliki komposisi seperti *martensitic white cast iron* yang mempunyai sifat ketahanan aus yang tinggi serta kekerasan yang tinggi pula yang sesuai dengan ASTM A532. Dari segi fasa yang terbentuk pada material yang digunakan oleh PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk sangat jauh berbeda dari fasa yang seharusnya terbentuk pada material standar *hammer crusher*.

Setelah diberi perlakuan panas dan di *quench* dengan media pendingin yang berbeda-beda, diperoleh struktur mikro berupa fasa *acicular bainite* dan *lath martensite*, dengan bentuk yang berbeda – beda. Hal ini terjadi karena perbedaan pada media pendingin pada tiap-tiap spesimen uji (Septianto, 2013). *Acicular bainite* yang merupakan agregat dari ferrit dan sementit (Fe_3C) terbentuk pada kecepatan pendinginan sedang dimana pada kondisi ini karbon sulit berdifusi kedalam fasa austenit (Aisyah, 2011). Sedangkan *lath martensite* (martensit bilah) terbentuk pada material dengan kadar karbon sampai 0.6%. *Quenching*



dengan menggunakan media pendingin air dapat membentuk fasa *lath martensite* yang terlihat lebih tegang serta panjang – panjang atau *continous* (Yogantoro, 2010). Dari segi kekerasannya, setelah dilakukan proses *hardening* nilai kekerasan pada material uji masuk dalam *range* nilai kekerasan pada material standar *hammer crusher* menurut ASTM A532. Hal ini terjadi karena pendinginan non-ekuilibrium atau pendinginan sangat cepat dapat meningkatkan nilai kekerasan suatu material dan kekerasan tertinggi diperoleh pada spesimen yang menggunakan air sebagai media pendinginnya. (Septianto, 2013). Pengaruh waktu tahan saat proses *hardening* juga dapat mempengaruhi kekerasan pada suatu material karena semakin lama waktu tahannya maka homogenitas yang terjadi pada fasa austenit menjadi lebih baik dan juga menyebabkan difusi karbon sehingga kekerasannya dapat turun jika waktu tahannya terlalu lama.

2.15.3 Efek dari Perlakuan Panas pada Sifat Mekanik dan Ketahanan Korosi dari *Martensitic Stainless Steel AISI420*

Martensitic stainless steel banyak digunakan karena sifat mekaniknya yang bagus dan ketahanan korosi yang cukup baik. Namun pada beberapa aplikasi seperti generator uap, dan *mixer blades*, dibutuhkan sifat mekanik yang lebih baik lagi. Karena itulah pada penelitian ini dilakukan *heat treatment* untuk memperbaiki sifat – sifat tersebut. Sampel material diaustenitisasi pada temperatur 980°C, 1015°C, dan 1050°C selama 30, 60, dan 120 menit. Setelah perlakuan panas didapatkan bahwa struktur mikro sampel uji adalah *lath martensite*, dan karbida terutama pada temperatur rendah. Jumlah karbida berkurang pada penambahan temperatur austenitisasi dari 980° ke 1050°. Waktu austenitisasi tidak terlalu berpengaruh pada pembentukan struktur mikro. Berdasarkan pengujian EDS didapatkan bahwa karbida yang terbentuk pada temperatur *tempering* 200°C, 500°C, dan 700°C dapat berupa $M_{23}C_6$, dan M_7C_3 .



Setelah dilakukan pengujian kekerasan, dengan waktu *holding* 30 menit dan 120 menit nilai kekerasan menurun seiring dengan meningkatnya temperatur, sedangkan pada waktu *holding* 60 menit, nilai kekerasan meningkat seiring dengan naiknya temperatur. Variasi nilai kekerasan disebabkan oleh dua faktor. Pertama, meningkatnya unsur paduan seperti *chromium* dan karbon di dalam austenit, dengan meningkatnya temperatur. Kedua, terbentuknya *retained austenite* di dalam *lath martensite* seiring dengan meningkatnya temperatur austenitisasi, dan mengakibatkan *detrimental effect* pada kekerasan.

Nilai kekerasan tertinggi diperoleh dari spesimen uji austenitisasi pada 1050°C selama 60 menit, karena itu proses *tempering* dilakukan pada spesimen tersebut. Setelah dilakukan tempering nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada temperatur 200°C. Meningkatnya nilai kekerasan saat proses *tempering* pada temperatur 400 – 500°C disebabkan karena fenomena *secondary hardening*. Hal ini disebabkan terbentuknya karbida M_7C_3 pada *lath martensite*. Kekerasan menurun saat *tempering* pada temperatur 500 – 700°C. Hal ini terjadi ketika karbida M_7C_3 yang terbentuk lebih kasar dan bertransformasi menjadi karbida $M_{23}C_6$.

2.15.4 Perubahan Struktur Mikro dan Sifat Mekanik dari Baja X12CrMoWVNb10-1-1 Selama Proses *Quenching* dan *Tempering*

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik dari material baja X12CrMoWVNb10-1-1. Spesimen uji dipanaskan pada temperatur austenitisasi 1080°C selama 16 jam lalu didinginkan pada *furnace*, dilanjutkan dengan *tempering* pada temperatur 570°C selama 18 jam dan pada temperatur 690°C selama 24 jam. Karakteristik struktur mikro dari spesimen yang telah di *heat treatment* diamati menggunakan mikroskop optik, dan SEM. Berdasarkan hasil pengujian didapati struktur mikro



hasil austenitisasi berupa *lath martensite*, *retained austenite*, dan tidak terbentuknya *delta ferrite*. *Lath martensite* yang terbentuk mengandung dislokasi yang disebabkan proses pembentukan martensit saat pendinginan.

Setelah proses tempering pada 570°C, struktur mikro yang terbentuk berupa *lath martensite*, dan presipitasi karbida. Pada perlakuan ini tidak adanya *retained austenite* yang tersisa, dan terbentuknya presipitasi karbida di dalam *lath martensite*, berupa Cr-rich M_7C_3 , Cr-rich $M_{23}C_6$, Cr-rich M_2N , dan Nb-rich MN. Waktu tempering 18 jam menghasilkan presipitasi karbida kasar pada beberapa lokasi. Pada proses tempering 690°C menghasilkan presipitasi yang progresif, dan Cr-rich $M_{23}C_6$ yang kasar bersamaan dengan berkurangnya Cr-rich M_7C_3 .

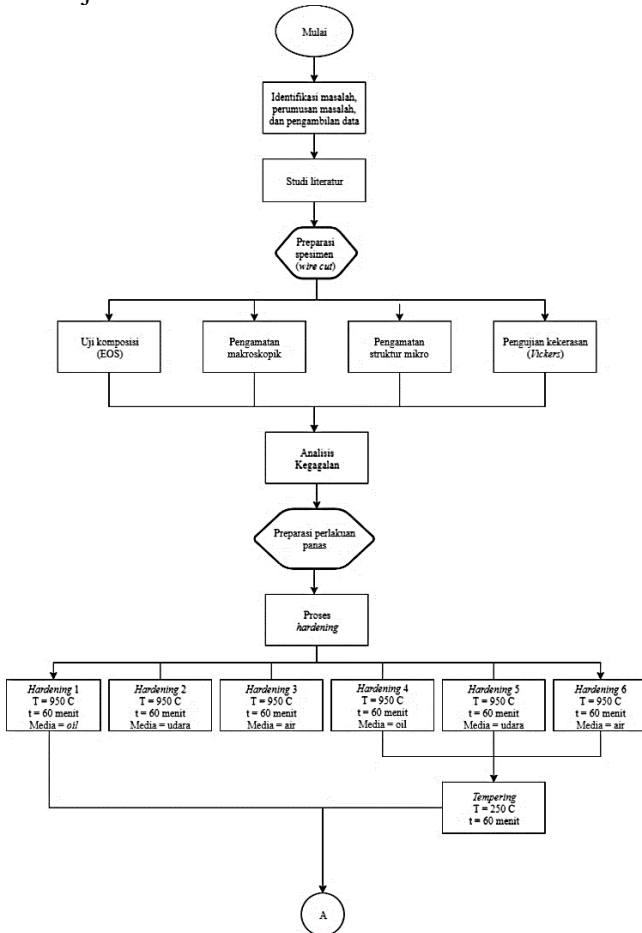


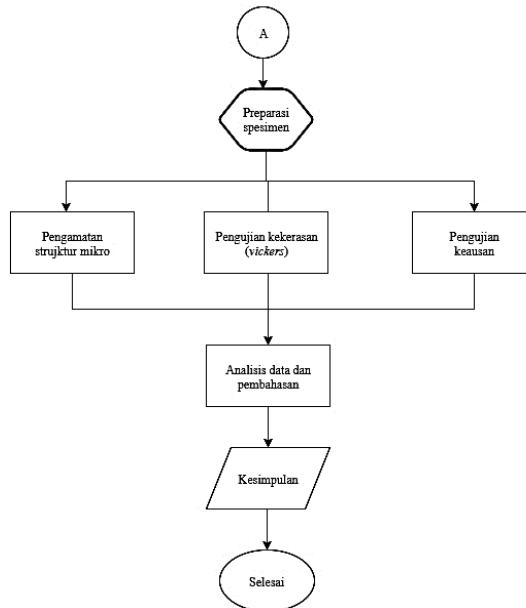
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan beberapa pengujian seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.1 dibawah ini





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian kali ini antara lain adalah:

1. Studi lapangan

Metode ini mengacu pada pencarian informasi tentang komponen yang akan diteliti beserta informasi tentang kegagalan yang terjadi pada komponennya dengan cara terjun langsung ke lapangan yaitu PT. Semen Indonesia, Tbk, dan berdiskusi dengan dosen mata kuliah, dosen pembimbing, dan pihak PT. Semen Indonesia, Tbk yang ahli di bidangnya.

2. Studi Literatur

Metode studi literatur mengacu pada buku-buku, jurnal-jurnal penelitian, dan situs industri yang mempelajari tentang



permasalahan analisa kegagalan khususnya keausan pada *Hammer Crusher*.

3. Pengujian

Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam eksperimen ini yaitu: mengkaji *record* dari *hammer crusher* yang ada pada PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk, pengamatan makro dengan menggunakan kamera, pengamatan mikro dengan mikroskopik optik, uji komposisi dengan menggunakan spektrometer, uji kekerasan dan uji keausan pada material *hammer crusher*.

4. Penelitian

Metode ini dilakukan dengan meneliti perlakuan – perlakuan yang dapat diterapkan pada material sebagai solusi kegagalan. Metode ini meliputi eksperimen, studi literatur, dan pengujian material – material yang telah diberikan perlakuan.

3.3 Material yang Digunakan

Pada pengecekan berkala yang dilakukan oleh PT Semen (Persero) Tbk. yang dilakukan pada tanggal 8 Januari 2015, didapati bahwa *hammer* pada *crusher* 2 mengalami keausan (*wear*) yang tidak wajar, ditunjukkan pada Gambar 3.2. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan dimensi dari *hammer crusher*. Menurut engineer pada PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk, umur pakai komponen tersebut masih lama, yaitu selama 3 tahun. Namun kenyataannya setelah 1.5 tahun komponen *hammer crusher* tersebut telah mengalami kerusakan (keausan).



Gambar 3.2 Material *hammer crusher*

Material yang digunakan oleh PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk merupakan material *hammer crusher* yang memiliki komposisi kimia seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Komposisi kimia *hammer crusher*

Unsur	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
%	0.1	0.8	1.1	0.03	0.006	10.0	0.1	0.05

Berikut ini adalah data-data dari *hammer crusher* mencakup penggunaan dan kondisi lingkungan kerja.

- Kecepatan rotasi = 600 rpm
- Temperatur = 30°C
- Kapasitas = 1600 *ton/hour*
- *Running time* = 20 *hour/day*
- *Lifetime* = 3 tahun

3.4 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Penggaris

Digunakan untuk mengukur spesimen.



2. Mesin *Wire Cut*

Digunakan untuk memotong spesimen. Mesin *wire cut* ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Mesin *Wire Cut*

3. Kamera

Digunakan untuk mendapatkan informasi kegagalan secara makro.

4. Mesin OES (*Optical Emission Spectroscopy*)

Digunakan untuk mengetahui komposisi material uji. Mesin uji komposisi (OES) ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Mesin OES

5. Uji Kekerasan

Digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material uji. Mesin uji kekerasan ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Universal hardness tester*



6. Amplas SiC grade 80 hingga 2000

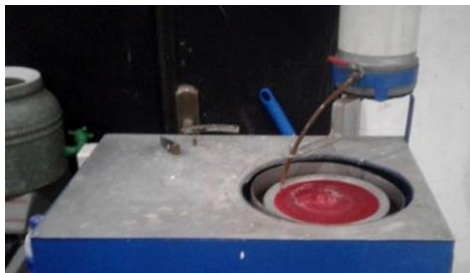
Digunakan untuk preparasi pengujian metalografi. Kertas amplas ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Kertas *abrasive* (amplas)

7. Mesin *Polishing*

Digunakan untuk preparasi pengujian metalografi. Mesin *polishing* ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Mesin *polishing*

8. Larutan Etsa

Digunakan untuk preparasi pengujian metalografi. Larutan etsa yang digunakan adalah etsa vilella dengan kandungan 5 mL HCl + 1 gr *picric acid* + 100 mL *ethanol* (ASTM E407, 2007).



9. Mikroskop Optik

Digunakan untuk mendapatkan informasi struktur mikro/fasa yang terdapat pada material uji. Mikroskop optik ditunjukkan pada Gambar 3.8



Gambar 3.8 *Olympus BX51 optical microscope*

10. Mesin X-Ray Diffractometer (XRD)

Menggunakan alat *Pan Analytical XRD* untuk mendapatkan informasi terkait senyawa yang terbentuk setelah proses perlakuan panas yang diberikan pada spesimen uji. Mesin *X-Ray Diffractometer* ditunjukkan pada Gambar 3.9



Gambar 3.9 Mesin pengujian XRD

11. Mesin Pin on Disc

Digunakan untuk mengetahui sifat ketahanan aus (*wearability*) pada material uji. Mesin uji keausan ditunjukkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Mesin uji keausan (*pin on disc*)



3.5 Tahapan Penelitian

3.5.1 Review Dokumen Perusahaan

Review dokumen perusahaan dilakukan untuk mendapatkan data data perusahaan yang berkaitan dengan *hammer crusher* sebagai pendukung hasil penelitian, berikut data yang harus diambil, yaitu:

1. Desain *hammer crusher*
2. Data operasi
3. *Maintenance record*

3.5.2 Preparasi Spesimen

Tahap Persiapan ini diperlukan sebelum melakukan pengujian untuk menentukan penyebab kegagalan/keausan *Hammer Crusher* pada PT Semen Indonesia. Persiapan ini berupa proses *cutting* material.

3.5.3 Pengamatan Makroskopik dan Mikroskopik

Pengamatan makro dilakukan untuk mengetahui bentuk, tampilan dan lokasi komponen yang mengalami kegagalan secara makro. Pengamatan makro dilakukan menggunakan kamera digital dan mikro dengan mikroskop optik. Adapun perlakuan terhadap sampel material sebagai berikut:

1. Melakukan pengambilan fotografi dengan kamera untuk mendapatkan informasi bentuk dari kegagalan secara makro.
2. Pengamatan melalui *optical microscope* terhadap sampel material dengan beberapa kali perbesaran untuk mendapatkan struktur mikronya.

3.5.4 Uji Komposisi

Pengujian komposisi kimia adalah untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada komponen yang mengalami kegagalan. Identifikasi komposisi kimia material menggunakan alat *Optical Emission Spectroscopy (OES)* di Laboratorium *Non Destructive Test/Destructive Test*, Politeknik Perkapalan Negeri



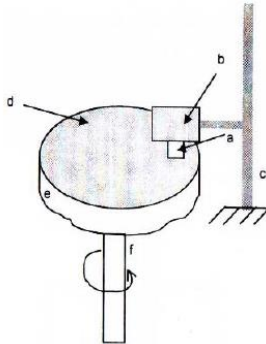
Surabaya untuk mengetahui komposisi yang ada pada *hammer crusher*.

3.5.5 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada sampel material. Pengujian ini dilakukan dengan metode *Vickers* dimana dalam pengujiannya memakai indentor intan, pembebanan sebesar 100 kgf dan waktu indentasi selama 10 detik. Pengujian ini menggunakan *Universal Hardness Tester HBRV 187.5A* di Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Sebelumnya, sampel yang digunakan harus memiliki permukaan yang rata untuk menghindari cacat indentasi.

3.5.6 Uji Keausan

Pengujian keausan dilakukan untuk mengetahui tingkat ketahanan aus (*wearability*) dari spesimen uji. Pengujian ini dilakukan dengan metode *pin on disc*, dimana dalam pengujiannya spesimen uji yang diberi beban seberat 1 kg diletakkan pada piringan *disc* yang berputar. Pengujian ini mengacu pada ASTM G99 dengan metode *pin on disc*. Skema uji ketahanan aus dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Skema uji ketahanan aus material (a) spesimen *pin*, (b) beban, (c) *holder*, (d) material abrasif, (e) *disc*, (f) penyangga. (Yuswono, 2014)

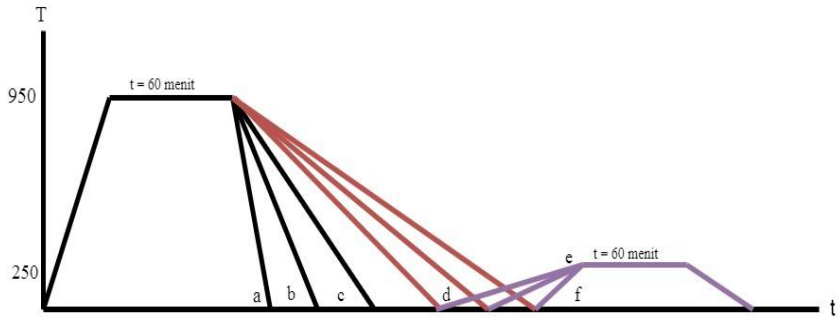
3.5.7 Uji XRD

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui fasa atau senyawa yang terbentuk setelah proses perlakuan panas. Pengujian ini dilakukan untuk mengidentifikasi fasa dalam struktur mikro setelah dilakukan proses perlakuan panas. Adapun parameter dari pengujian XRD yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. Sinar radiasi : Cu-K α
- b. 2θ range : 10 – 90 derajat
- c. Scan speed : 2 derajat/menit

3.5.8 Perlakuan Panas

Perlakuan panas yang dilakukan untuk meningkatkan kekerasan pada material hammer crusher adalah dengan proses *hardening* pada spesimen (a), (b), (c), (d), (e) dan (f) pada temperatur 950°C selama 60 menit. Lalu pendinginan dengan media air (a) dan (d), oli (b) dan (e), dan udara (c) dan (f). Setelah itu dilanjutkan dengan proses tempering pada spesimen (d), (e), (f) pada temperatur 250°C selama 60 menit. Kurva perlakuan panas ditunjukkan pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Kurva perlakuan panas

3.6 Rancangan Penelitian

Jenis perlakuan yang akan dilakukan selama penelitian ditunjukkan pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Rancangan penelitian *hammer crusher*

Material	Jenis perlakuan	Media pendingin	Uji OES	Uji metalografi	Uji kekerasan
<i>Hammer Crusher</i>	-	-	✓	✓	✓
<i>Hammer Crusher H1</i>	<i>hardening</i>	air	-	✓	✓
<i>Hammer Crusher H2</i>	<i>hardening</i>	oli	-	✓	✓
<i>Hammer Crusher H3</i>	<i>hardening</i>	udara	-	✓	✓
<i>Hammer Crusher HT1</i>	<i>hardening tempering</i>	air	-	✓	✓
<i>Hammer</i>	<i>hardening</i>	oli	-	✓	✓



Material	Jenis perlakuan	Media pendingin	Uji OES	Uji metalografi	Uji kekerasan
<i>Crusher HT2</i>	<i>tempering</i>				
<i>Hammer Crusher HT3</i>	<i>hardening tempering</i>	udara	-	✓	✓

3.7 Timeline Penelitian

Rancangan waktu penelitian ditunjukkan pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 *Timeline penelitian hammer crusher*

N o	Kegiatan	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1.	Pengambilan data					
2.	Preparasi spesimen					
3.	Pengujian spesimen (Uji komposisi, uji kekerasan, pengamatan makroskopik, pengamatan struktur mikro)					
4.	Preparasi perlakuan panas					



N o	Kegiatan	Agust us	Septem ber	Oktob er	Novem ber	Desem ber
5.	Perlakuan panas					
6.	Pengujian spesimen (Pengamatan struktur mikro, struktur mikro, uji kekerasan, dan uji keausan)					



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Percobaan

Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia yang telah dilakukan, didapati bahwa material *hammer crusher* yang mengalami kegagalan adalah material *martensitic stainless steel*, yaitu SS 410. Sedangkan, standar material yang digunakan pada komponen *hammer crusher* seharusnya adalah *white cast iron* (ASTM A532, 1999). Ketidaksesuaian ini mengakibatkan terjadinya kegagalan (keausan) pada material. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan upaya untuk meningkatkan kekerasan material *hammer crusher*, agar memenuhi standar yang telah ditetapkan. Jenis perlakuan yang diterapkan pada material *hammer crusher* dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Kode spesimen dan jenis perlakuan pada SS 410

Kode spesimen	Jenis perlakuan
SS 410	Material komponen <i>hammer crusher</i> (as cast)
SS 410 H-WQ	SS 410 dengan pemanasan pada temperatur 950°C + <i>water quench</i>
SS 410 H-OQ	SS 410 dengan pemanasan pada temperatur 950°C + <i>oil quench</i>
SS 410 H-AQ	SS 410 dengan pemanasan pada temperatur 950°C + <i>air quench</i>
SS 410 HT-WQ	SS 410 dengan pemanasan pada temperatur 950°C +



Kode spesimen	Jenis perlakuan
	<i>water quench</i> + <i>tempering</i> pada temperatur 250°C
SS 410 HT-OQ	SS 410 dengan pemanasan pada temperatur 950°C + <i>oil quench</i> + <i>tempering</i> pada temperatur 250°C
SS 410 HT-AQ	SS 410 dengan pemanasan pada temperatur 950°C + <i>air quench</i> + <i>tempering</i> pada temperatur 250°C

4.1.1 Pengamatan Hasil Makro *Hammer Crusher*

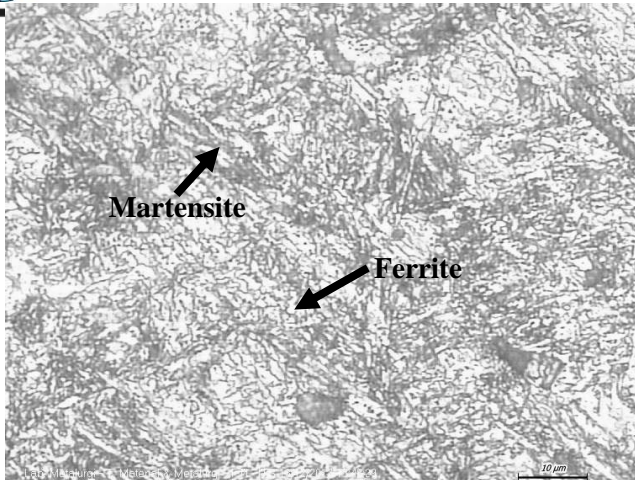
Berdasarkan hasil pengamatan visual secara makro menggunakan kamera pada *hammer crusher* yang mengalami keausan, terlihat pada Gambar 4.1 terjadi keausan pada bagian sudut *hammer crusher*. Hal itu dikarenakan pada proses reduksi *limestone*, terjadi gesekan antara *hammer crusher* dengan *limestone*. Proses itu terjadi secara berulang – ulang, hingga pada akhirnya material mengalami keausan. Hal ini dikarenakan interaksi permukaan, dimana permukaan yang mengalami beban berulang akan mengarah kepada pembentukan – pembentukan retakan – retakan mikro. Retakan – retakan mikro tersebut pada akhirnya menyatu dan menghasilkan pengelupasan pada material (Stachowiak, 2000).



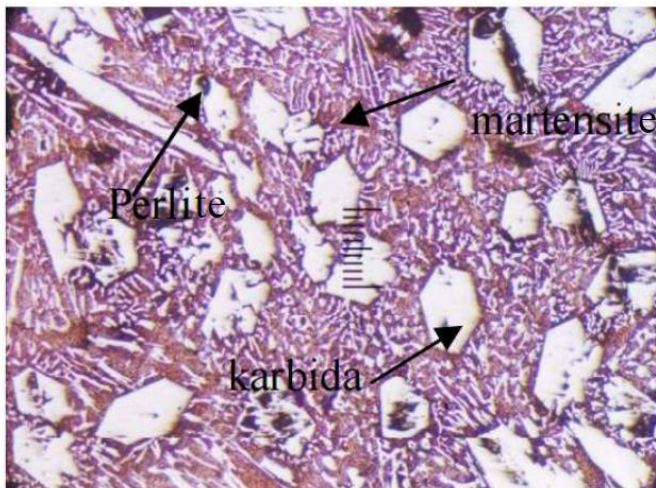
Gambar 4.1 *Hammer crusher* yang mengalami kegagalan

4.1.2 Hasil Pengujian Struktur Mikro pada *Hammer Crusher*

Pengujian struktur mikro atau metalografi pada *hammer crusher* yang mengalami kegagalan dilakukan untuk mengetahui struktur awal yang terbentuk pada material tersebut sebelum dilakukan perlakuan panas, serta struktur awal pada saat material mengalami kegagalan. Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 1000x dengan etsa vilella. Struktur mikro pada SS 410 yang terlihat pada Gambar 4.2 akan dibandingkan dengan struktur mikro *martensitic white cast iron* yang merupakan standar dari *hammer crusher*, ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.2 Struktur mikro pada *hammer crusher* yang gagal (SS 410) perbesaran 1000x dengan etsa villega



Gambar 4.3 Struktur mikro *martensitic white cast iron* ASTM A532 (Subardi, 2011)



Pada Gambar 4.2 menunjukkan struktur mikro pada material *hammer crusher* yang gagal. Pada gambar tersebut terlihat fasa *martensite* yang berbentuk seperti bilah ditunjukkan pada bagian berwarna gelap, dan fasa *ferrite* ditunjukkan pada bagian berwarna terang.

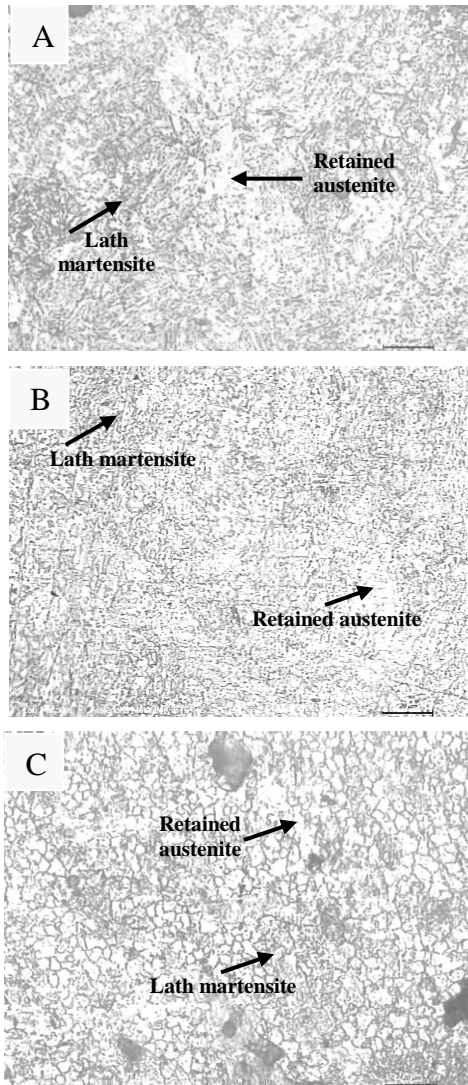
Pada Gambar 4.3 menunjukkan struktur mikro pada material standar komponen *hammer crusher* yaitu *martensitic white cast iron*. Pada gambar tersebut terlihat fasa karbida Cr yang berwarna putih berbentuk angular, *pearlite* yang berwarna hitam dan fasa *plate martensite*. (Subardi, 2011)

Setelah dilakukan *heat treatment*, pengujian struktur mikro kembali dilakukan untuk mengetahui struktur akhir yang terbentuk setelah dilakukan *heat treatment* dengan variasi media pendingin dan jenis perlakuan. Pengamatan yang dilakukan yaitu dengan menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 500x.

Gambar 4.4 menunjukkan struktur mikro hasil proses *hardening* pada temperatur 950°C. Struktur mikro yang terbentuk adalah *lath martensite* dan *retained austenite*. Gambar 4.4 (A) menunjukkan struktur mikro material SS 410 H-WQ. Material ini adalah material yang mengalami pemanasan pada temperatur 950°C selama 60 menit lalu didinginkan dengan media air (*water quench*). *Lath martensite* yang terbentuk banyak dan berupa jarum – jarum berbentuk bilah berwarna gelap, *retained austenite* yang terbentuk cukup banyak, ditunjukkan dengan bagian yang berwarna putih. Pada Gambar 4.4 (B) menunjukkan struktur mikro material SS 410 H-OQ. Material ini adalah material yang mengalami pemanasan pada temperatur 950°C selama 60 menit lalu didinginkan dengan media oli (*oil quench*). *Lath martensite* yang terbentuk lebih halus dan kecil ditunjukkan dengan bagian yang berwarna gelap, serta *retained austenite* yang lebih sedikit dan lebih kecil ditunjukkan dengan bagian berwarna putih. Pada Gambar 4.4 (C) menunjukkan struktur mikro material SS 410 H-AQ. Material ini adalah material yang mengalami pemanasan pada temperatur 950°C selama 60 menit lalu didinginkan dengan media udara (*air quench*). Butiran *retained austenite* yang



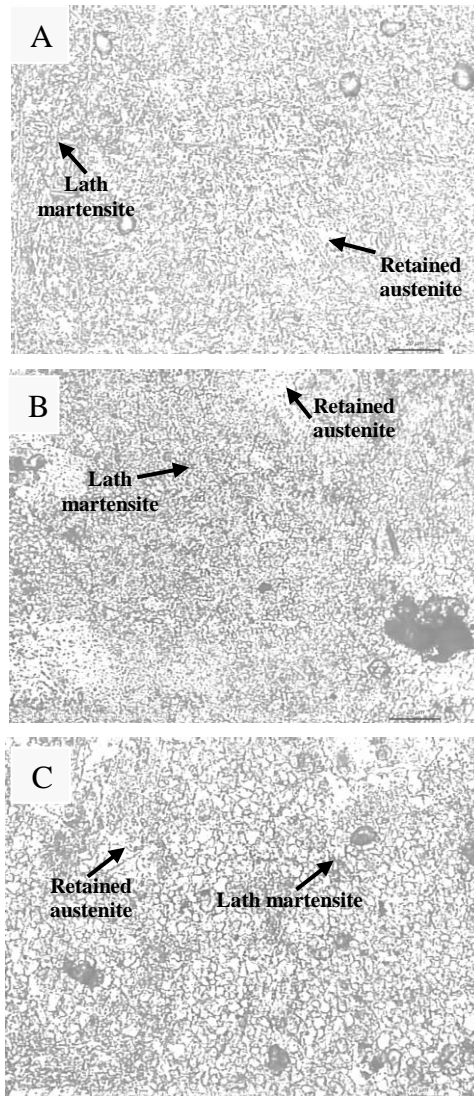
terbentuk terlihat lebih besar dan halus ditunjukkan dengan bagian berwarna putih. Fasa martensit yang terbentuk jauh lebih sedikit dibandingkan dengan kedua material lainnya, ditunjukkan pada bagian yang berwarna gelap. Hal ini dikarenakan pendinginan terjadi secara lambat, sehingga martensit tidak terbentuk sepenuhnya dan menghasilkan *retained austenite* dengan ukuran butir yang besar.



Gambar 4.4 Foto struktur mikro SS 410 perbesaran 500x dengan etsa vilella: (A) SS 410 H-WQ, (B) SS 410 H-OQ, (C) SS 410 H-AQ



Gambar 4.5 menunjukkan struktur mikro hasil proses *hardening* pada temperatur 950°C dilanjutkan dengan proses *tempering* pada temperatur 250°C. Struktur mikro yang terbentuk adalah *lath martensite*, *retained austenite*, dan presipitasi karbida. Gambar 4.5 (A) menunjukkan struktur mikro material SS 410 H-WQ. Material ini adalah material yang mengalami pemanasan pada temperatur 950°C selama 60 menit lalu didinginkan dengan media air (*water quench*), dilanjutkan dengan *tempering* pada temperatur 250°C selama 60 menit. Fasa yang terbentuk adalah *lath martensite* berbentuk jarum – jarum halus ditunjukkan pada bagian yang berwarna gelap, *retained austenite* yang jauh lebih sedikit dibandingkan hasil proses *hardening*, ditunjukkan pada bagian berwarna terang, dan presipitasi karbida. Pada Gambar 4.5 (B) menunjukkan struktur mikro material SS 410 H-OQ. Material ini adalah material yang mengalami pemanasan pada temperatur 950°C selama 60 menit lalu didinginkan dengan media oli (*oil quench*), dilanjutkan dengan *tempering* pada temperatur 250°C selama 60 menit. Fasa yang terbentuk adalah *lath martensite* ditunjukkan dengan bagian berwarna gelap, *retained austenite* yang cukup banyak ditunjukkan dengan bagian berwarna putih, dan presipitasi karbida. Pada Gambar 4.5 (C) menunjukkan struktur mikro material SS 410 H-AQ. Material ini adalah material yang mengalami pemanasan pada temperatur 950°C selama 60 menit lalu didinginkan dengan media udara (*air quench*), dilanjutkan dengan *tempering* pada temperatur 250°C selama 60 menit. Fasa yang terbentuk adalah *lath martensite* ditunjukkan dengan bagian yang berwarna gelap, *retained austenite* dengan ukuran butir yang lebih besar, banyak dan tersebar merata, serta presipitasi karbida.



Gambar 4.5 Foto struktur mikro SS 410 perbesaran 500x dengan etsa villeda: (A) SS 410 HT-WQ. (B) SS 410 HT-OQ, (C) SS 410 HT-AQ



4.1.3 Hasil Pengujian Kekerasan pada *Hammer Crusher*

Pengujian kekerasan digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari komponen *hammer crusher* yang mengalami kegagalan. Pengujian ini menggunakan *Universal Hardness Tester HBRV 187.5A*, dengan metode *vickers*. Beban yang digunakan 100 kgf dengan waktu indentasi selama 10 detik. Pengujian dilakukan pada 5 titik seperti pada Gambar 4.6



Gambar 4.6 Pembagian daerah indentasi

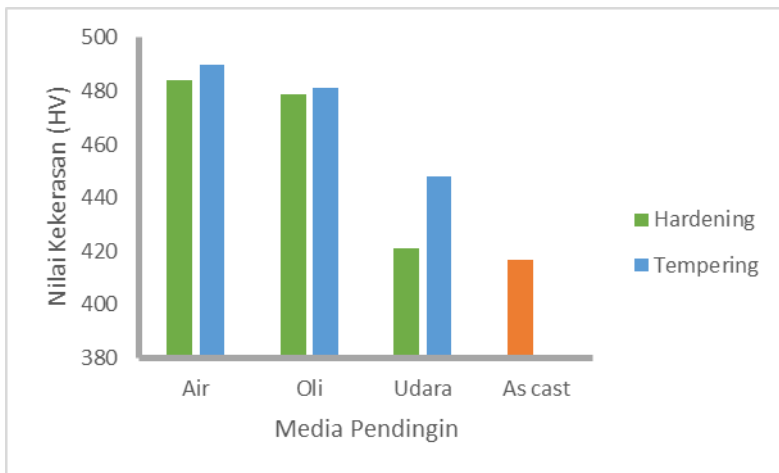
Hasil pengujian kekerasan material *hammer crusher* yang gagal dan yang telah mengalami perlakuan dapat dilihat pada Tabel 4.2 serta grafik distribusi kekerasan ditunjukkan pada Gambar 4.7

Tabel 4.2 Hasil pengujian kekerasan spesimen uji

Kode Spesimen	Kekerasan (HV)
SS 410	$417 \pm 1,7$
SS 410 H-WQ	$484 \pm 5,3$
SS 410 H-OQ	$476 \pm 7,4$
SS 410 H-AQ	$421 \pm 3,8$



Kode Spesimen	Kekerasan (HV)
SS 410 HT-WQ	$490 \pm 3,7$
SS 410 HT-OQ	$481 \pm 3,9$
SS 410 HT-AQ	$448 \pm 10,3$



Gambar 4.7 Grafik distribusi kekerasan spesimen uji

Dari Tabel 4.2 didapatkan hasil uji kekerasan pada permukaan setiap sampel uji setelah di *heat treatment*. Pada spesimen uji SS 410 tanpa perlakuan (*as cast*) nilai kekerasan sebesar 417 HV. Setelah diberikan perlakuan *hardening* pada temperatur 950°C, spesimen uji SS 410 H-WQ memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu 484 HV, sedangkan spesimen uji SS 410 H-AQ memiliki nilai kekerasan yang paling rendah yaitu 421 HV. Spesimen SS 410 H-OQ memiliki nilai kekerasan diantara keduanya, yaitu 476 HV.

Setelah diberikan perlakuan *hardening*, spesimen dilanjutkan dengan perlakuan *tempering* pada temperatur 250°C.



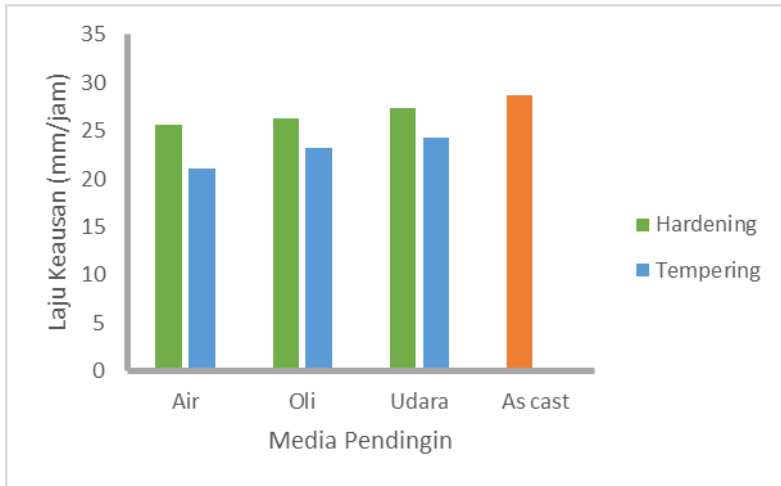
Pada spesimen SS 410 HT-WQ didapatkan nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu 490 HV, sedangkan spesimen SS 410 HT-AQ mempunyai nilai kekerasan yang paling rendah yaitu 448 HV. Spesimen SS 410 HT-OQ memiliki nilai kekerasan diantara keduanya yaitu 481 HV.

4.1.4 Hasil Pengujian Keausan pada *Hammer Crusher*

Pengujian keausan bertujuan untuk mengetahui *wearability* dari komponen material *hammer crusher* yang mengalami kegagalan. Pada penelitian ini, pengujian keausan menggunakan metode *pin on disc*, dimana spesimen uji diberikan beban seberat 1 kg, kemudian diletakkan pada *disc* piringan berputar, yang beralaskan kertas *abrasive grade* 80. Pengujian dilakukan selama 3 menit (ASTM G99, 2000). Hasil pengujian keausan ditunjukkan pada Tabel 4.3, dan grafik distribusi keausan ditunjukkan pada Gambar 4.8.

Tabel 4.3 Hasil pengujian ketahanan aus spesimen uji

Nama Spesimen	Laju Keausan (mm/jam)	Nilai Kekerasan (HV)
SS 410	$28,66 \pm 0,3$	$417 \pm 1,7$
SS 410 H-WQ	$25,66 \pm 0,4$	$484 \pm 5,3$
SS 410 H-OQ	$26,34 \pm 0,4$	$476 \pm 7,4$
SS 410 H-AQ	$27,34 \pm 0,4$	$421 \pm 3,8$
SS 410 HT-WQ	$21 \pm 0,4$	$490 \pm 3,7$
SS 410 HT-OQ	$23,16 \pm 0,2$	$481 \pm 3,9$
SS 410 HT-AQ	$24,34 \pm 0,08$	$448 \pm 10,3$



Gambar 4.8 Grafik distribusi keausan spesimen uji

Dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat bahwa pada spesimen yang telah diberikan perlakuan, spesimen uji dengan nilai kekerasan tertinggi, yaitu SS 410 HT-WQ memiliki nilai keausan paling rendah yaitu 21 mm/jam, sedangkan spesimen uji dengan nilai kekerasan terendah, yaitu SS 410 H-AQ memiliki nilai keausan tertinggi yaitu 27,34 mm/jam.

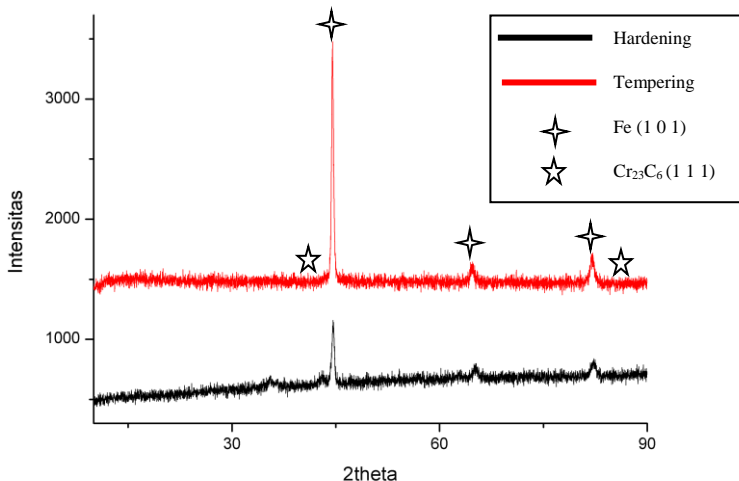
4.1.4 Hasil Pengujian XRD pada Spesimen Uji Setelah Proses Heat Treatment

Pengujian *X-Ray Diffraction* dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material FTI-ITS. Pengujian ini bertujuan untuk mengidentifikasi fasa yang ada pada spesimen uji setelah proses *hardening*, dan spesimen uji setelah proses *hardening* serta *tempering*.

Gambar 4.9 menunjukkan hasil pengujian XRD spesimen hasil proses *heat treatment*, dimana grafik berwarna hitam menunjukkan spesimen uji hasil proses pemanasan pada temperatur 950°C selama 60 menit, dan grafik berwarna merah



menunjukkan hasil proses pemanasan pada temperatur 950°C selama 60 menit dilanjutkan dengan proses *tempering* pada temperatur 250°C selama 60 menit. Dari hasil XRD diperoleh *peak – peak* dengan intensitas tertentu. Dapat dilihat pada Gambar 4.9 *peak* tertinggi merupakan unsur Fe dengan kartu JCPDS 96-901-3476 terdapat pada $2\theta=44.6032$, $2\theta=65,1725$ dan $2\theta=82,5536$. Dapat dilihat bahwa senyawa karbida berupa Cr_{23}C_6 dengan kartu JCPDS 96-210-7333 terdapat pada *peak* $2\theta=43.50$ dan $2\theta=86.50$.



Gambar 4.9 Grafik XRD material hasil proses *heat treatment*

4.2 Pembahasan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, faktor penyebab kegagalan suatu material dapat dibagi menjadi beberapa hal, salah satunya adalah penggunaan material yang tidak sesuai dengan standar, sehingga nilai kekerasan material lebih rendah daripada standar yang telah ditetapkan. Material standar untuk *hammer crusher* seharusnya adalah *martensitic white cast iron* yang mempunyai sifat ketahanan aus yang tinggi dan kekerasan



yang juga tinggi, sesuai dengan standar ASTM A532 *class* IIA, IIB, dan IIIA. Nilai kekerasan minimal dari material ini adalah 485 HV (ASTM A532, 1999). Setelah melakukan pengujian komposisi pada material yang didapatkan dari PT. Semen Indonesia, didapatkan bahwa material yang digunakan pada *hammer crusher* adalah *martensitic stainless steel* SS 410, dimana nilai kekerasan dan ketahanan aus dari material SS 410 lebih rendah dibandingkan dengan *martensitic white cast iron*, yaitu berkisar pada 400 HV. Perbedaan nilai kekerasan ini mengakibatkan *hammer crusher* yang seharusnya mampu digunakan hingga 3 tahun hanya bertahan selama 1.5 tahun. Karena itu penelitian ini berusaha untuk meningkatkan kekerasan dari material *hammer crusher* yang gagal, agar dapat meningkatkan *lifetime* dari komponen *hammer crusher*, dilakukan dengan cara *heat treatment* variasi jenis pengerasan dan media pendingin.

Pada pengamatan hasil struktur mikro diketahui bahwa struktur awal yang terbentuk pada material yang gagal terdiri dari fasa ferrit pada matriks martensit (Atlas, 1972). Kehadiran kedua fasa inilah yang menjadikan kekerasan pada SS 410 *as cast* cukup tinggi, namun masih tidak memenuhi standar ASTM A532. Sedangkan struktur mikro pada *hammer crusher* yang sesuai standar menunjukkan fasa *pearlite*, karbida Cr, dan *plate martensite* (Subardi, 2011). Karbida dan fasa *plate martensite* yang terbentuk dapat menyebabkan material menjadi keras. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perbedaan fasa pada kedua material ini mengakibatkan perbedaan tingkat kekerasan, sehingga terjadi kegagalan (keausan).

Setelah diberikan perlakuan *hardening* serta *quenching* dengan media pendingin yang berbeda – beda, diperoleh struktur mikro yang terbentuk adalah *lath martensite*, *retained austenite*, dan presipitasi karbida (Isthafany, 2010). Martensit terbentuk karena pendinginan secara cepat dibawah temperatur *Ms*. Banyaknya austenit yang bertransformasi menjadi martensit tidak tergantung pada waktu, tetapi pada temperatur, dimana



semakin rendah temperaturnya makin banyak martensit yang terbentuk pada M_f (Suherman, 2003). Sehingga ketika proses pendinginan terganggu diantara temperatur M_s dan M_f , *retained austenite* akan terbentuk dikarenakan transformasi dari austenit menjadi martensit belum selesai sepenuhnya (Charre, 2003). Adanya *retained austenite* yang bersifat lunak menyebabkan kekerasan yang terbentuk tidak maksimum (Suherman, 2003). Pada pengamatan struktur mikro perbesaran 1000x, presipitasi karbida yang terbentuk tidak terlihat jelas, dikarenakan karbida berukuran submikroskopis. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Isthafany (2010), presipitasi karbida yang terbentuk pada proses *tempering* kemungkinan adalah $M_{23}C_6$ dan M_7C_3 . Berdasarkan diagram fasa dari material SS 410, presipitasi karbida yang terbentuk adalah $M_{23}C_6$. Hal ini dibuktikan dengan pengujian XRD pada Gambar 4.9. Dapat dilihat bahwa setelah proses *hardening* terdapat presipitasi karbida berupa $M_{23}C_6$ dengan peak height sebesar 300 cts.

Pada spesimen yang diberi perlakuan *hardening* dan *tempering*, diperoleh struktur mikro yang terbentuk adalah *lath martensite*, *retained austenite* yang jauh berkurang, dan presipitasi karbida yang jauh lebih banyak. Pada saat setelah *quenching*, martensit yang terbentuk seperti jarum-jarum halus yang menyebabkan peningkatan nilai kekerasan (Prifiarni, 2017). Pada Gambar 4.10, dapat dilihat bahwa terdapat presipitasi karbida berupa $M_{23}C_6$ dengan *peak height* mencapai 500 cts, yang menunjukkan bahwa karbida yang terbentuk jauh lebih banyak dibandingkan dengan karbida yang terbentuk hasil proses *hardening*, yaitu 300 cts. Pada saat proses *tempering*, nilai kekerasan dari spesimen uji meningkat dikarenakan karbida $M_{23}C_6$ yang terkandung jauh lebih banyak, terbentuknya karbida $M_{23}C_6$ menghasilkan peningkatan kekerasan dikarenakan fenomena *precipitation hardening*, yang membentuk presipitasi karbida di dalam *martensite lath*. Peningkatan kekerasan ini dapat terjadi karena adanya peningkatan kadar kelarutan karbida yang meningkatkan kadar karbon dalam martensit. Oleh karena itu



martensit menjadi lebih keras karena kadar karbon yang dikandung lebih tinggi. Hal ini mengakibatkan material uji SS 410 HT-WQ memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi, karena fasa yang terbentuk adalah *lath martensite*, *retained austenite* yang tidak terlalu banyak, serta presipitasi karbida $M_{23}C_6$.

Setelah diberi perlakuan panas berupa *hardening* dan *tempering*, serta di *quench* pada media pendingin yang berbeda – beda, nilai kekerasan yang dihasilkan meningkat cukup signifikan. Bervariasinya nilai kekerasan pada spesimen uji dikarenakan adanya perbedaan media pendingin dan perlakuan *heat treatment*. Kemampuan suatu jenis media dalam mendinginkan spesimen berbeda – beda, perbedaan kemampuan tersebut disebabkan oleh temperatur, kekentalan, dan kadar larutan. Semakin cepat logam didinginkan maka semakin keras sifat logam tersebut (Handoyo, 2015). Dari hasil nilai kekerasan yang didapatkan, dapat dilihat bahwa spesimen uji yang diberi perlakuan *hardening* dan *tempering* mempunyai nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen uji yang hanya diberi perlakuan *hardening*. Hal itu dikarenakan pada proses *tempering* terbentuk karbida $M_{23}C_6$ yang jauh lebih banyak dibandingkan spesimen uji hasil *hardening*, yang mengakibatkan kekerasan spesimen uji meningkat.

Pada awalnya *hammer crusher* yang gagal memiliki nilai kekerasan sebesar 417 HV. Setelah proses *heat treatment* dan pendinginan didapatkan nilai kekerasan tertinggi sebesar 484 HV untuk spesimen SS 410 H-WQ, dan 490 HV untuk spesimen SS 410 HT-WQ. Dari hasil tersebut, spesimen yang memenuhi *range* nilai kekerasan pada material standar *hammer crusher* berdasarkan ASTM A532 adalah spesimen SS 410 HT-WQ, yaitu spesimen yang dilakukan proses *hardening* pada temperatur 950°C selama 60 menit lalu di *quench* pada media pendingin, dilanjutkan dengan *tempering* pada temperatur 250°C selama 60 menit. Hal ini terjadi karena pendinginan non-ekuilibrium atau pendinginan yang sangat cepat sehingga dapat meningkatkan nilai kekerasan suatu material (Septianto, 2013). Kekerasan tertinggi



didapatkan dengan pendinginan pada media air karena air memiliki sifat menyerap panas yang baik, sehingga air dapat mendinginkan logam yang telah dipanaskan secara cepat, dan didapatkan nilai kekerasan maksimum (Handoyo, 2015). Kekerasan tertinggi didapatkan dengan proses *hardening* dan *tempering* dikarenakan pada proses *tempering* terjadi *precipitation hardening*. Pada proses ini atom – atom yang dipaksa diam akibat proses *quenching*, mulai bergerak kembali karena proses pemanasan dan berdifusi membentuk presipitat fasa kedua. Kehadiran presipitat inilah yang memberikan efek penguatan. Presipitat yang terbentuk tersebar secara halus dan merata sehingga menghambat gerakan dislokasi (Supendi, 2009).

Hasil pengujian ketahanan aus yang linier dengan hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa peningkatan kekerasan meningkatkan sifat ketahanan aus dari material tersebut. Spesimen SS 410 HT-WQ dengan kekerasan 490 HV memiliki laju pengausan sebesar 21 mm/jam. Pada *abrasive wear*, kekerasan adalah sifat yang paling penting untuk meningkatkan kemampuan suatu baja dalam ketahanan aus dikarenakan goresan (Ratia, 2015). Semakin keras material tersebut, maka semakin sulit media *abrasive* untuk melakukan penetrasi dan menggores material. Karena itulah, material SS HT-WQ memiliki nilai ketahanan aus yang paling tinggi dikarenakan nilai kekerasannya paling tinggi. Sifat ketahanan aus juga dipengaruhi oleh austenit sisa (*retained austenite*). Austenit sisa bersifat lunak, sedangkan martensit bersifat keras. Keberadaan keduanya dalam struktur mikro memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap nilai *wear rates* dari material uji (Nurjaman, 2012). Karena itulah material SS 410 H-AQ memiliki nilai ketahanan aus yang paling rendah, dikarenakan banyaknya kandungan austenit sisa.

Hubungan antara meningkatnya nilai kekerasan dengan peningkatan nilai ketahanan aus tidak terlalu signifikan. Dapat dilihat bahwa pada spesimen *hammer crusher* tanpa perlakuan (*as cast*) nilai laju keausan sebesar 28,66 mm/jam, dan setelah proses perlakuan panas perbedaan nilai laju keausan tidak terlalu besar.



Hal ini dikarenakan sejak awal material *stainless steel* memiliki nilai ketahanan aus yang tinggi, dikarenakan banyaknya unsur paduan pembentuk karbida yaitu Cr, dimana unsur paduan pembentuk karbida dapat meningkatkan sifat ketahanan aus (Suherman, 1999).



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

1.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan perlakuan *hardening* dengan media pendingin air, oli, dan udara yang telah dilakukan, didapatkan bahwa SS 410 H-WQ terdiri dari fasa *lath martensite*, *retained austenite*, dan presipitasi karbida $M_{23}C_6$ menghasilkan nilai kekerasan dan ketahanan aus yang cukup tinggi.
2. Berdasarkan perlakuan *hardening* dan *tempering* dengan media pendingin air, oli, dan udara yang telah dilakukan, didapatkan bahwa SS 410 HT-WQ terdiri dari fasa *lath martensite*, *retained austenite* yang sedikit, dan presipitasi karbida $M_{23}C_6$ yang jauh lebih banyak, menghasilkan nilai kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi.

1.2 Saran

1. Melakukan pengujian perlakuan panas dengan pendinginan hingga dibawah temperatur kamar (*subzero treatment*) agar mendapatkan *full martensite*.
2. Pada saat melakukan pembelian komponen *hammer crusher* harus disertai dengan sertifikat komposisi kimia dan sifat mekanik yang sesuai dari standar yang telah ditetapkan.
3. Menggunakan produk lain yang sesuai dengan standar *hammer crusher*.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 1999. *ASTM A532 Standard Spesification for Abrasion-Resistant Cast Irons*. USA: ASM International.
- _____. 2015. *ASTM A1021 Standard Spesification for Martensitic Stainless Steel Forgings And Forging Stock for High-Temperature Service*. USA: ASM International.
- _____. 1991. *ASM Handbook Volume 4 Heat Treatment*. USA: ASM International.
- Arumsari, Novia. 2017. **Analisis Kegagalan pada Hammer Crusher di Clinker Cooler Tuban 1, PT. Semen Indonesia**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Atlas Steels Technical Department. 2013. *The Atlas Steels Technical Handbook of Stainless Steel*. Australia: Atlas Steels.
- Avner, Sidney H. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Blau, P. J. 2001. *The Significance and The Use of Friction Coefficient*. Amsterdam: Tribology International
- Brooks, Charlie and Choudhury, Ashok. 2002. *Failure Analysis of Engineering Materials*. New York: McGraw-Hill.

- Buckley, D.H. 1981. *Surface Effects in Adhesion, Friction, Wear and Lubrication*. Amsterdam: Elsevier
- Callister, William. 2007. *Material Science and Engineering An Introduction*. New York: JohnWiley & Sons, Inc.
- Campbell, F.C. 2008. *Elements of Metallurgy and Engineering*. New York: ASM International.
- Charre, Madeleine-Durand. 2003. *Microstructure of Steels and Cast Irons*. Paris: SIRPE.
- Darmanto. 2014. *Analisis Keausan Aluminium Menggunakan Triboster Pin-on-Disc dengan Variasi Kondisi Pelumas*. Semarang: Universitas Wahid Hasyim.
- Dieter, George E. 1987. *Metalurgi Mekanik*. Jakarta: Erlangga.
- Dwi Yani, Rina ; Pratomo, Tri ; Cahyono, Hendro. 2008. *Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Struktur Mikro Logam ST 60*. Pontianak: Politeknik Negeri Pontianak.
- Habibi, Firdaus. 2010. *Karakterisasi Sifat Fisis dan Mekanis Grinding Ball Impor Diameter 40 mm yang digunakan di PT. Indocement Tunggal Prakarsa, Tbk*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

Edahwati, Luluk. 2009. **Alat Industri Kimia**. Surabaya: UPN Press.

Handoyo, Yopi. 2015. **Pengaruh Quenching dan Tempering pada Baja JIS Grade S45C terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Crankshaft**. Bekasi: Universitas Islam 45.

Hokkirigawa, K. And Kato, K. 1989. *Theoretical Estimation of Abrasive Wear Resistance Based on Microscopic Wear Mechanism*. New York: Wear of Materials.

Istfahany, dkk. 2011. *The Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties and Corrosion Behavior of AISI420 Martensitic Stainless Steel*. Journal of Alloy and Compounds.

Kallel, Mouna, dkk. 2017. *Hammer Premature Wear in Mineral Crushing Process*. Tunisia: Tribology International.

Krafft, H. 2002. *Alloy 430 Ferritic Stainless Steel Welds Fail due to Stress Corrosion Cracking in Heat Recovery Steam Generator*. USA: ASM Springer.

Nayan, dkk. 2009. *An Introduction to Optical Emission Spectroscopy and Laser-Aided Spectroscopy Techniques for Low-Temperature Plasma Analyses*. Malaysia: MUCEET.

- Nishida, Shin-ichi. 1992. *Failure Analysis in Engineering Application*. Oxford: Butterworth- Heinemann.
- Nurjaman, Fajar. 2012. **Pembuatan *Grinding Ball* dari Material *White Cast Iron* dengan Penambahan *Chromium, Molybdenum, Vanadium, dan Boron* sebagai Unsur Paduan Pembentuk Karbida**. Depok: Universitas Indonesia.
- Outokumpu. 2013. *Handbook of Stainless Steel*. Sweden: Outokumpu Oyj.
- Prifiarni, Siska. 2017. **Struktur mikro, Kekerasan, dan Ketahanan Korosi Baja Tahan Karat Martensitik 13Cr₃Mo₃Ni Hasil *Quench-Temper* dengan Variasi Temperatur dan Waktu Austenisasi**. Tangerang Selatan: LIPI.
- Ramadhan, Yudha. 2017. **Analisis Pengaruh Variasi Waktu Tahan dan Media Pendingin Proses *Hardening* pada Sifat Kekerasan Baja AISI 8655 Sebagai Solusi Kegagalan pada *Hammer Crusher***. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ratia, V. 2015. *Behavior of Martensitic Wear Resistant Steels in Abrasion and Impact Wear Testing Conditions*. Tampere: Tampere University of Technology.
- Saada, dkk. 2015. *Damage of Stainless Steel Components by Olive Paste*. Tunisia: University of Sfax.

- Septianto, dkk. 2013. **Pengaruh Media Pendingin pada *Heat Treatment Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Friction Wedge AISI 1340***. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Suherman, Wahid. 1999. **Ilmu Logam II**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Suherman, Wahid. 2003. **Ilmu Logam I**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Stachowiak, G.W. 2005. ***Wear–Materials, Mechanisms And Practice***. England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Subardi, dkk. 2011. **Pengaruh Viskositas Media Celup Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro *Martensitic White Cast Iron ASTM A532***. Yogyakarta: STTNAS.
- Supriyanto, dkk. 2012. **Kajian Pengaruh *Tempering Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pengelasan Stainless Steel***. Yogyakarta: Universitas Janabodra.
- Tao, dkk. ***Microstructure Evolution and Mechanical Properties of X12CrMoWVNbN10-1-1 Steel during Quenching and Tempering Process***. Journal of Materials Research and Technology.
- Verma, dkk. 2014. ***Design of a Horizontal Shaft Impact Crusher***. Nagpur: IJAIEEM.

- Yani, dkk. 2008. **Pengaruh Perlakuan Panas terhadap Struktur Mikro Logam ST 60**. Pontianak: Politeknik Negeri Pontianak.
- Yogantoro, Anom. 2010. **Penelitian Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan *Low Tempering*, dan *High Tempering* pada *Medium Carbon Steel* Produksi Pengecoran Batur-Klaten terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketangguhan (*Toughness*)**. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Zum Gahr, K.H. 1987. ***Microstructure and Wear of Materials***. Amsterdam: Tribology Series.

LAMPIRAN

A. Hasil Analisis Komposisi Kimia OES (*Optical Emission Spectroscopy*)

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID :	C	Material :	CARBON STEEL
Customer :	ZAHRA LUTHFIAH S / ITS	Dimension :	20X20X20 mm
Lab-no. :	LAB. UJI BAHAN	Heat-no. :	-
Operator :	AGUS	Ka. Laboratorium :	M. THORIQ W.
Date :	9/12/2017		

Spektralanalyse Foundry-MASTER				Grade :				
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	87.4	0.113	0.821	1.11	0.0270	0.0082	10.0	0.0797
2	87.4	0.102	0.817	1.11	0.0246	0.0036	10.0	0.0383
3	87.4	0.109	0.821	1.13	0.0236	0.0066	10.0	0.0256
Ave	87.4	0.108	0.820	1.12	0.0251	0.0061	10.0	0.0479
	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1	0.137	0.0646	0.0124	0.0344	0.0076	0.0526	0.0359	0.0142
2	0.137	0.0632	0.0134	0.0353	0.0082	0.0381	0.0305	0.0092
3	0.143	0.0620	0.0128	0.0357	0.0070	0.0337	0.0381	0.0107
Ave	0.139	0.0633	0.0129	0.0351	0.0076	0.0414	0.0349	0.0113
	Pb	Sn	B	Ca	N	Se	Sb	Ta
1	0.0011	0.0042	0.0012	0.0002	0.0350	< 0.0020	< 0.0010	< 0.0046
2	0.0015	0.0046	0.0019	< 0.0001	0.0210	< 0.0020	0.0168	< 0.0046
3	0.0014	0.0069	0.0020	< 0.0001	0.0193	< 0.0020	< 0.0010	< 0.0046
Ave	0.0013	0.0053	0.0017	< 0.0001	0.0251	< 0.0020	0.0056	< 0.0046

B. Standar SS 410 (ASTM A1021)



A 1021 – 02

TABLE 1 Heat Treatment, °F (°C)

	Grade A	Grade B	Grade C		Grade D	Grade E	
	Class 1 & 2	Class 1	Class 1	Class 2	Class 1 & 2	Class 1	Class 2
Austenitizing	1725-1775 (940-970)	1600-1750 (870-955)	1825-1875 (995-1025)	1725-1875 (940-1025)	1875-1925 (1025-1050)	2075-2125 (1135-1165)	1725-1775 (940-970)
Quenching	Air or liquid	Air or liquid	Air or liquid	Air or liquid	Air or liquid	Air or liquid	Air or liquid
Single Tempering	1050 min (565 min)	1050 min (565 min)	1050 min (565 min)	1050 min (565 min)	1150 min (620 min)	1250 min (675 min)	1100 min (595 min)
Double Tempering	...	...	1025 min (550 min)	1025 min (550 min)	...	...	...
Stress Relieving	1025 min (550 min)	1025 min (550 min)	1000 min (540 min)	1000 min (540 min)	1100 min (595 min)	1200 min (650 min)	1050 min (565 min)

TABLE 2 Chemical Requirements^A

Composition %					
UNS Designation	Grade A	Grade B	Grade C	Grade D	Grade E
	403/410 SS UNS S41000	403/410 SS MOD.	XM-32 Mod	422 SS	UNS S41041
Carbon	0.15	0.10-0.15	0.10-0.17	0.20-0.25	0.13-0.18
Manganese	1.00	0.25-0.80	0.65-1.05	0.50-1.00	0.40-0.60
Phosphorus	0.018	0.018	0.020	0.025	0.030
Sulfur	0.015	0.015	0.015	0.010	0.030
Silicon	1.00	0.50	0.35	0.50	0.50
Nickel	0.75	0.75	2.25-3.25	0.50-1.00	0.50
Chromium	11.5-13.5	11.5-13.0	11.25-12.75	11.0-12.5	11.5-13.0
Molybdenum	0.50	0.50	1.50-2.00	0.90-1.25	0.20
Vanadium	...	Report only	0.25-0.40	0.20-0.30	...
Tungsten	...	0.10	0.10	0.9-1.25	...
Nitrogen	...	0.08	0.020-0.045	Report only	...
Aluminum	...	0.025	0.025	0.025	0.050
Columbium	...	0.20	...	...	0.15-0.45
Cobalt	...	...	...	...	...
Titanium	...	0.05	0.05	0.025	...
Copper	...	0.50	0.50	0.50	...
Tin	...	0.05	0.05	0.02	...

^A Maximum or range unless otherwise specified.

C. Standar Material Hammer Crusher (ASTM A532)

TABLE 1 Chemical Requirements, Weight %

Class	Type	Designation	Carbon	Manganese	Silicon	Nickel	Chromium	Molybdenum	Copper	Phosphorus	Sulfur
I	A	Ni-Cr-Hc	2.8-3.6	2.0 max	0.8 max	3.3-5.0	1.4-4.0	1.0 max	...	0.3 max	0.15 max
I	B	Ni-Cr-Lc	2.4-3.0	2.0 max	0.8 max	3.3-5.0	1.4-4.0	1.0 max	...	0.3 max	0.15 max
I	C	Ni-Cr-GB	2.5-3.7	2.0 max	0.8 max	4.0 max	1.0-2.5	1.0 max	...	0.3 max	0.15 max
I	D	Ni-HiCr	2.5-3.6	2.0 max	2.0 max	4.5-7.0	7.0-11.0	1.5 max	...	0.10 max	0.15 max
II	A	12 % Cr	2.0-3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	11.0-14.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max
II	B	15 % Cr-Mo	2.0-3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	14.0-18.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max
II	D	20 % Cr-Mo	2.0-3.3	2.0 max	1.0-2.2	2.5 max	18.0-23.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max
III	A	25 % Cr	2.0-3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	23.0-30.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max

TABLE 2 Hardness Requirements																
Class	Type	Designation	Hardness, Minus-BE													
			As Cast or As Cast and Stress Relieved			Sand Cast, min ^a										
			Relieved			Hardened or Heat-Treated and Stress Relieved			Hardened or Heat-Treated and Stress Relieved							
			Level 1			Level 2			Level 2							
			HB	HRC	HV	HB	HRC	HV	HB	HRC	HV	HB	HRC	HV		
I	A	14-Cr-HC	510	53	600	600	58	600	58	715	600	58	600	...	...	...
I	B	14-Cr-LC	510	53	600	600	58	600	58	715	600	58	600	...	...	...
I	C	14-Cr-GB	510	53	600	600	58	600	58	715	600	58	600	400	41	430
I	D	14-HiCr	510	50	540	600	58	600	58	715	500	53	600	...	...	...
II	A	12 % Cr	510	53	600	600	58	600	58	715	500	53	600	...	...	...
II	B	15 % Cr-Mo	450	46	485	600	58	600	58	715	500	53	600	400	41	430
II	D	20 % Cr-Mo	450	46	485	600	58	600	58	715	...	...	...	400	41	430
III	A	25 % Cr	450	46	485	600	58	600	58	715	...	...	...	400	41	430

^a 100 % Rockwell C hardness is maintained to a depth of 40 % of the casting section, with any softer material being at the bottom center of the casting. A sampling procedure should be established by the manufacturer to determine the hardness of the casting.

^b After cold-chamber of casting shall meet minimum hardness or used cast requirements.

D. Nilai Kekerasan Spesimen Uji SS 410

Kode Spesimen	Titik Indentasi					Rata - Rata	Standar Deviasi
	1	2	3	4	5		
SS 410	417	419	415	417	419	417,4	1,67332
SS 410 H-WQ	488	486	475	487	482	483,6	5,319774
SS 410 H-OQ	470	473	485	487	480	479	7,382412
SS 410 H-AQ	419	427	421	417	419	420,6	3,847077
SS 410 HT-WQ	495	492	487	487	487	489,6	3,714835
SS 410 HT-OQ	487	484	479	479	478	481,4	3,911521
SS 410 HT-AQ	446	433	446	453	461	447,8	10,32957

E. Nilai Keausan Spesimen Uji SS 410

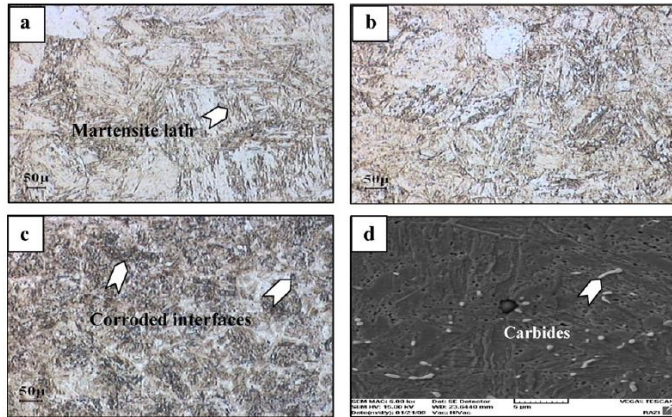
Kode Spesimen	t0 (mm)	t1 (mm)	t0-t1 (mm)	Waktu	Rotasi	Keausan/Waktu (mm/hari)	Standar Deviasi
HA	10	8,8	1,316667	3 menit	1000	632	0,402078
		8					
		8,4					
		9					
		9					
		8,9					
		8,683333					
HO	10	9	1,366667	3 menit	1000	656	0,393277
		8,8					
		8,8					
		8,9					
		8					
		8,3					
		8,633333					

Kode Spesimen	t0 (mm)	t1 (mm)	t0-t1 (mm)	Waktu	Rotasi	Keausan/Waktu (mm/hari)	Standar Deviasi
HU	10	8,9	1,283333	3 menit	1000	616	0,397073
		9					
		9					
		8,5					
		8					
		8,9					
		8,716667					
HTA	10	8,9	1,216667	3 menit	1000	584	0,386868
		8					
		8,9					
		8,9					
		9					
		9					
		8,783333					
HTO	10	8,9	1,158333		1000	556	0,180046

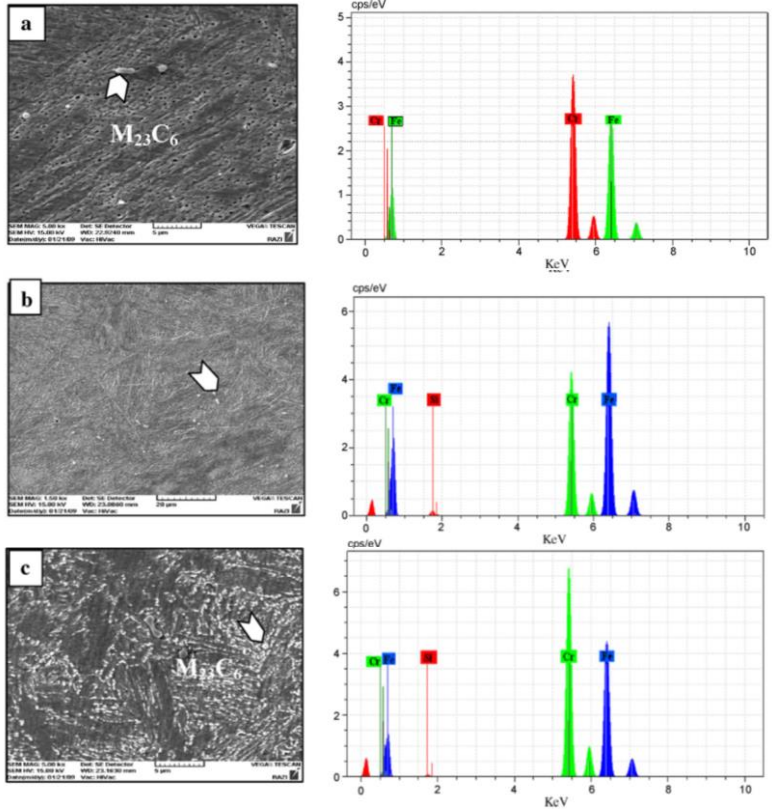
Kode Spesimen	t0 (mm)	t1 (mm)	t0-t1 (mm)	Waktu 3 menit	Rotasi	Keausan/Waktu (mm/hari)	Standar Deviasi
		9					
		8,5					
		8,95					
		8,9					
		8,8					
		8,841667					
HTU	10	8,8	1,05	3 menit	1000	504	0,083666
		9					
		9					
		9					
		9					
		8,9					
		8,95					
TP	10	8,7	1,433333	3 menit	1000	688	0,287518
		8,8					

Kode Spesimen	t0 (mm)	t1 (mm)	t0-t1 (mm)	Waktu	Rotasi	Keausan/Waktu (mm/hari)	Standar Deviasi
		8,6					
		8,6					
		8					
		8,7					
		8,566667					

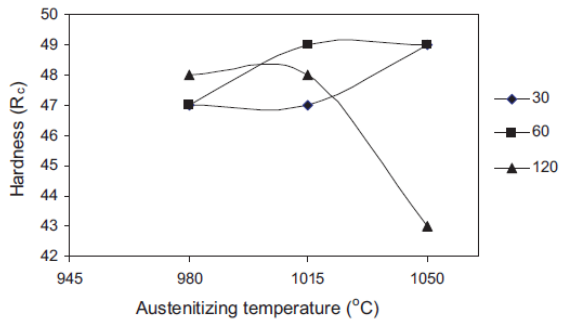
F. Efek dari Perlakuan Panas pada Sifat Mekanik dan Ketahanan Korosi dari *Martensitic Stainless Steel* AISI420



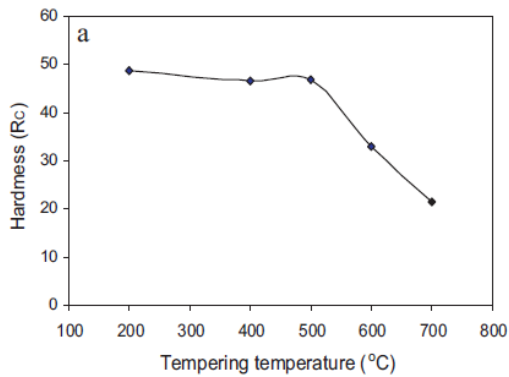
Gambar Struktur mikro AISI 420 hasil *heat treatment*, (a) 1050°C, (b) 1015°C, (c) 980°C dan (d) SEM pada 980°C



Gambar Analisis EDS dari spesimen *tempered* pada (a) 200°C, (b) 500°C, dan (c) 700°C

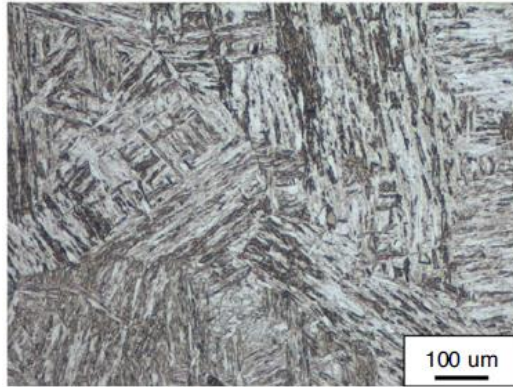


Gambar Efek dari temperatur dan waktu austenitisasi pada kekerasan

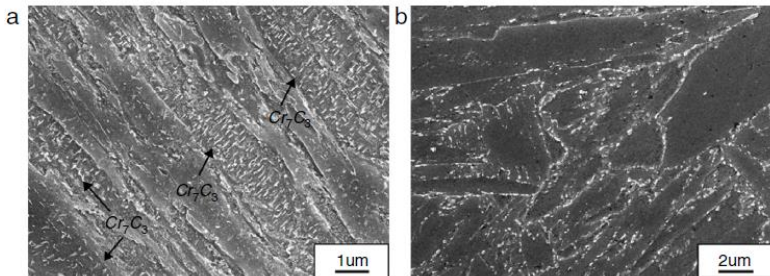


Gambar Efek temperatur *tempering* pada kekerasan

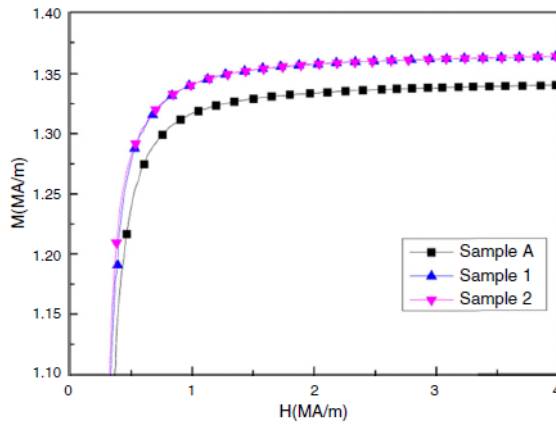
G. Perubahan Struktur Mikro dan Sifat Mekanik dari Baja X12CrMoWVNb10-1-1 Selama Proses *Quenching* dan *Tempering*



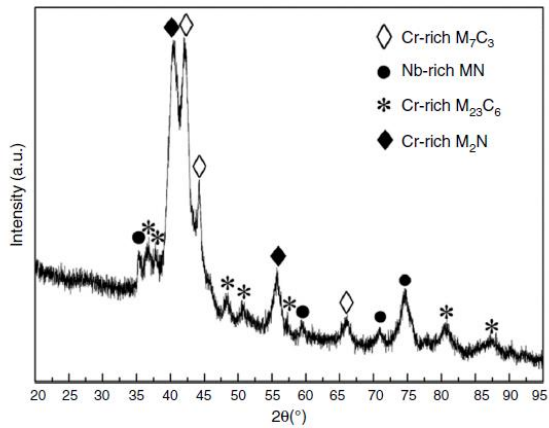
Gambar Struktur mikro dari sampel proses austenitisasi



Gambar Mikrografi SEM dari sampel hasil *tempering*, (a) 570°C, (b) 690°C



Gambar Fraksi volume dari *retained austenite* diukur menggunakan *magnetization*



Gambar XRD sampel hasil *tempering* 570°C

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT berkat pertolongan dan bimbingan-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang telah menjadi sumber motivasi dalam pembuatan laporan ini, serta telah mendukung secara moril maupun materiil, dan doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan, dan kelancaran dalam mengerjakan Laporan Tugas Akhir.
3. Dr. Agung Purniawan S.T, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
4. Ir. Rochman Rochiem M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
5. Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T selaku co dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
6. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material FTI ITS.
7. Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si selaku dosen wali yang telah membantu penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
8. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
9. Bapak Anggoro selaku pembimbing di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan Tugas Akhir ini.

10. Teman – teman yang penulis sayangi, Aninur, Anisya, Clarissa, Thalyta, dan Prita yang telah menemani dan mewarnai hari – hari penulis selama di jenjang perkuliahan ini.
11. Teman – teman seperjuangan Tugas Akhir Analisa Kegagalan, Rifki, Redy, Adnan, Pandu, dan Argya yang telah membantu dan menyemangati penulis selama penulisan Laporan Tugas Akhir.
12. Sahabat – sahabat saya, Choi, Tami, Uci, Abel, dan Atip yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan meskipun jauh dari saya.
13. Keluarga MT 16 yang penulis sayangi, yang telah menemani dan memberikan banyak pengalaman berharga selama jenjang perkuliahan ini.
14. Dan seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam penulisan Tugas Akhir ini.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Bogor, 17 Agustus 1996, dan merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TKIT Sholahuddin, SD Rimba Putra, SMP Negeri 7 Bogor, dan SMA Negeri 3 Bogor. Setelah lulus dari SMA penulis melanjutkan studinya melalui jalur SNMPTN di Jurusan Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2014 terdaftar dengan NRP 02511440000026. Pada Teknik Material penulis memilih bidang Korosi dan Analisa Kegagalan.

Sejak kuliah penulis aktif mengikuti organisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) dan pernah menjabat sebagai Wakil Kepala II Departemen Dalam Negeri. Penulis juga aktif dalam mengikuti berbagai kegiatan pelatihan seperti LKMM Pra TD, LKMM TD, PP LKMM, dan *Workshop* Magang Ormawa. Di masa perkuliahan penulis berkesempatan untuk mengikuti kegiatan Magang Ormawa di Thailand yang diadakan oleh *International Office ITS*. Penulis juga merupakan penerima beasiswa *XL Future Leaders Batch 5*.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Timah (Persero) Tbk unit Pulau Kundur pada bulan Juli 2017. Selama kerja praktek, penulis mendalami topik terkait “Proses Peningkatan Kadar Sn pada *Feed Tailing* dengan Metode *Harz Jig* di PT. Timah (Persero) Tbk. Wilayah Kepri dan Riau”.

Tugas akhir yang diambil penulis adalah dalam bidang Korosi dan Analisa Kegagalan dengan judul “**Analisis Pengaruh Media Pendingin pada Proses Pengerasan Stainless Steel 410**”

**terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro untuk Aplikasi
Hammer Crusher".**

Email: zahraluthfiah25@gmail.com